

Trabajo Fin de Máster

# **UNA PROPUESTA DIDACTICA DE MEJORA SOBRE FÍSICA CUÁNTICA**

Tutor: D. JOSÉ MARÍA OLIVA MARTÍNEZ

Autor: MANUEL VALVERDE ROMERO

Especialidad: FÍSICA Y QUÍMICA

JUNIO 2016





## Contenido

Contenido .....	1
1. RESUMEN .....	5
2. ABSTRACT .....	5
3. INTRODUCCIÓN .....	7
4. REFERENTES TEÓRICOS DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN .....	9
4.1. Fundamentos epistemológicos .....	9
4.2. Dificultades de aprendizaje .....	10
4.3. Fundamentos didácticos .....	12
5. PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA MEJORADA .....	15
5.1. Justificación de la propuesta didáctica mejorada .....	15
5.2. Desarrollo de la propuesta didáctica mejorada .....	17
5.2.1. Contenidos .....	17
5.2.3. Competencias abordadas .....	21
5.2.4. Metodología .....	26
5.3. Propuesta de actividades .....	30
5.4. Propuesta de evaluación .....	73
5.5. Atención a la diversidad .....	75
6. CONCLUSIONES .....	76
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
8. ANEXOS .....	81
Anexo 1 .....	82
Anexo 2 .....	85
Anexo 3 .....	96
Anexo 4 .....	98
Anexo 5 .....	101
Anexo 6 .....	102

*Agradecimientos:*

A mi tutor de Trabajo Fin de Máster *D. José María Oliva Martínez*, por todo lo que aprendí gracias a él durante la realización del Máster, por conseguir acentuar aún más mi vocación y por su ayuda y consejos en la realización del presente trabajo

A mi tutor de prácticas *D. José Luís Borrego Aguayo*, por los sabios consejos impartidos, la libertad de acción personal para las prácticas y por las interesantes conversaciones de Física y Pedagogía

## **DECLARACIÓN PERSONAL PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER**

D/Dña: MANUEL VALVERDE ROMERO

con DNI...31244597V.....estudiante del Máster Oficial en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Cádiz, autor-a del Trabajo Fin de Máster titulado:...

UNA PROPUESTA DIDACTICA DE MEJORA SOBRE FÍSICA CUÁNTICA.....

**Declara** que se trata de un trabajo propio, original e inédito. Así mismo declara saber que el plagio puede conllevar, además de penalización en la evaluación y calificación del trabajo, las medidas administrativas y disciplinarias que la Comisión Académica del Máster determine en el marco de la normativa vigente de la Universidad de Cádiz.

Puerto Real, \_\_16\_\_ de \_\_junio\_\_ de \_\_2016\_\_

Firma del/la interesado/a

Fdo. \_\_Manuel Valverde Romero\_\_



## **1. RESUMEN**

Se presenta este Trabajo Fin de Máster como una propuesta para la mejora en la enseñanza de la Física Cuántica en segundo de Bachillerato cumpliendo los requisitos establecidos en el curriculum y como una innovación en su concepción y desarrollo para, partiendo de una síntesis entre un modelo socio-constructivista y una metodología fenomenológica-conceptual, estimular en el alumnado la generación de un sistema conceptual nuevo basado en una nueva ontología sobre los objetos cuánticos que lleve a una nueva forma de pensar en ellos, coexistente pero diferenciada de la clásica.

**Palabras clave:** Física Cuántica, Mecánica Cuántica, Cuantón, Constructivismo, Conceptual, Fenomenológico, Ontología.

## **2. ABSTRACT**

Die vorliegende Masterarbeit wird als ein Verbesserungsvorschlag zum Lehren der Quantenphysik in der Sekundarstufe gesetzestreu vorgenommen. Mit einer Innovation in Bezug auf ihre Konzipierung und Entwicklung stellt eine gewissermaßen Zusammenfassung zwischen Konstruktivismus und einer Phänomenologische-Begriffliche Methodologie dar, um das Erzeugen eines auf eine neue Ontologie Begriffssystems basierend über die Quanten den Lernern zu stimulieren, welches zu einem gleichzeitlichen vorhandenen aber von dem Klassischen differenzierten neues Denken führt.

**Stichwörter:** Quantenphysik, Quantenmechanik, Quanten, Konstruktivismus, begrifflich, phänomenologisch, Ontologie.





### 3. INTRODUCCIÓN

*"Cualquiera que no esté impactado con la teoría cuántica es que no la ha entendido."*

Niels Bohr

Durante la realización de dicho Máster está previsto un periodo de prácticas para la adquisición de las competencias y habilidades necesarias para el ejercicio de la profesión de profesor en la de educación secundaria obligatoria y bachillerato, formación profesional y enseñanzas de idiomas. En ese periodo el estudiante elabora una Unidad Didáctica que implementará durante la segunda fase de las prácticas. Este Trabajo Fin de Máster se propone como un trabajo monográfico orientado a la mejora educativa de la Unidad impartida durante dicho periodo de prácticas.

La Unidad objeto es la de la Física Cuántica y se elabora siguiendo la Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa, el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato y la Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato.

Durante la impartición de la Unidad en el periodo de prácticas, y gracias a la libertad de acción otorgada amablemente por el tutor, se planteó una innovación de ésta consistente en la asunción de un proyecto y estilos didácticos alejados de los habituales, así como de los contenidos de los libros de texto usados normalmente. En esta innovación se modificaron los contenidos, su secuenciación y su relevancia en el conjunto de la Unidad; a nivel teórico se optó por una metodología fenomenológica-conceptual (Greca & Herscovitz, 2002).

Esta mejora sigue ese punto de vista pero contiene también profundos cambios. La visión ahistórica presentada en las prácticas, y con ella la nula referencia a los modelos físicos a lo largo de la historia se ha abandonado y se han utilizado los modelos atómicos como excusa y razón de ser para un breve análisis histórico de la Física Cuántica. Debido a la orientación de esta Unidad se consideró en su momento contraproducente dicha visión, pues podría crear confusiones en el

objetivo de generar una nueva ontología, pero durante las prácticas se pudo observar que los alumnos disponen ya de dicho conocimiento pues es tratado en cursos anteriores, y que éste lo tiene profundamente integrado. Como reflexión se plantea que no se puede eludir dicho hecho y que una “ocultación” de información siempre es contraproducente. En la presente mejora se trata dicho tema abiertamente pero también se han fortalecido los mecanismos para diferenciar y poder discernir lo que representa el uso de modelos en Física y sus objetivos con lo que la realidad nos impone. Esto se trata acentuando la nueva ontología, viendo los fracasos explicativos de dichos modelos en cuanto a todos los matices de los datos experimentales y reestructurando la idea de orbital atómico como zona de probabilidad y no la de orbital-estantería (Solbes & Sinarcas, 2010).

Asimismo los contenidos se han revisado y su secuenciación se ha variado ligeramente, las actividades se han optimizado, redefinido y concretado mejor, se han añadido nuevas y el papel de profesor y alumno durante su realización se han visto también modificado. La importancia de cada uno de los contenidos ha sido también objeto de mejora, acentuando aquellos determinantes para el desarrollo coherente de la propuesta presentada y minorando aquellos menos influyentes. En esta mejora se ha acentuado la componente CTS de la Unidad como forma de acercamiento de los contenidos a los intereses y querencias del alumnado para así favorecer y fomentar la motivación, las necesidades de aprendizaje y su propio proceso. La evaluación ha sido objeto de importantes cambios para que ésta cumpla sus objetivos formativos y calificativos.

Todos estos cambios e innovaciones son fruto de la experiencia durante el periodo de prácticas y de la reflexión de su proceso y resultados, todo ello unido a los aprendizajes recibidos durante todo el Máster.

La Unidad objeto de mejora se imparte en segundo de bachillerato, al final del curso y con unos contenidos limitados respecto a otros; forma una entidad relativamente conectada con las otras Unidades (campo gravitatorio, electromagnético, etc.) ya que representa un salto cualitativo muy grande en cuanto a los conceptos y fenómenos que estudia. El alumnado se enfrentará en su bagaje educativo por primera vez con ideas totalmente ajenas a la mínima lógica e intuición, pero que, sin embargo, es base de la teoría física, junto con la relatividad general, más general, exacta e influyente del conocimiento actual; sus aplicaciones e

influencia en la economía contemporánea es decisiva, baste mencionar algunas de sus frutos tecnológicos: la revolución digital, el láser, las técnicas radiológicas y exploratorias más avanzadas en medicina, etc.; pero también previsiblemente en la futura a través de la computación cuántica, que representaría un salto de gigante en la capacidad de nuestros ordenadores. Es por ello importante innovar y buscar caminos nuevos de enseñanza en una disciplina tan conspicua y con tanto presente y futuro en el desarrollo del ser humano.

El presente trabajo se estructura según los criterios comunes establecidos para ello: se presenta unos referentes teóricos en los que se basa el posterior desarrollo de la Unidad mejorada, con su justificación, detalles de actividades, metodología, evaluación, etc. Al final se presentan las conclusiones como reflexión crítica final.

## **4. REFERENTES TEÓRICOS DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN**

### **4.1. Fundamentos epistemológicos**

La Física Cuántica nace con los problemas físicos pero también conceptuales y epistemológicos que es estudio de la radiación de cuerpo negro causó y que Planck resuelve con su hipótesis en 1900. En ella establece la cuantización de la energía como explicación, pero muy a su pesar, pues consideraba esta cuantización como una argucia matemática para resolver el entresijo denotando su constante  $h$  en referencia a la palabra alemana *Hilfe* que significa ayuda. Posteriormente Einstein (1905) da carta de validez a dicha constante aplicándola al efecto fotoeléctrico y a la luz: el Universo dejaba de ser continuo y, peor aún, la luz era una mezcla extraña de propiedades de partícula y onda. Antes totalmente antagónicos en muchos sentidos se unificaban o complementaban. Mientras tanto no se alcanzaba una idea de átomo compatible con los datos experimentales, los espectros producían rayas que no podían ser explicadas con los conocimientos de la época. En 1924, el físico físico De Broglie establece su teoría y con ello nace la dualidad onda-corpúsculo que permite explicar los espectros. Sin embargo todas estas teorías son puramente fenomenológicas y no logran explicar los conceptos subyacentes. Con ésta teorías se explica el átomo pero no se entiende el porqué de las orbitas fijas en donde el

electrón no emite radiación electromagnética a pesar de que la teoría de Maxwell así lo predice. Posteriormente Heisenberg y Schrödinger enuncian los postulados con los que nace la Mecánica Cuántica moderna. Con el principio de incertidumbre de Heisenberg se ponen límites a lo cognoscible y se rompe el determinismo Newtoniano. Se plantea, sin embargo, el debate de si es un problema ontológico o epistemológico. La corriente ontológica considera la realidad tal como es y establece la Mecánica Cuántica. La corriente epistemológica acentúa los límites y nuestras capacidades de conocimiento, que posteriormente Einstein establecerá planteado la existencia de posibles variables ocultas y la incompletitud de la Mecánica Cuántica. La fuerza de los hechos y el teorema de Bell darán la razón a la Mecánica Cuántica en su explicación ontológica. Por otro lado la interpretación de Copenhague intenta resolver el debate sobre la dualidad onda-corpúsculo y el colapso de la función de onda con su idea de complementariedad. El materialismo representado por Einstein, entre otros, niega la indeterminación y la teoría de la medida en Mecánica Cuántica indicando que ésta es incompleta. Pero, como se indicó, el teorema de Bell y su comprobación experimental hace que se establezcan otras interpretaciones como la decoherencia, más positivista, o la de los Universos paralelos, más idealista. Con el teorema de Bell, asimismo, se pone en tela de juicio el localismo y se plantea lo que Einstein denominaba “acción fantasmal a distancia”, producida por el fenómeno del entrelazamiento.

#### 4.2. Dificultades de aprendizaje



La teoría constructivista aborda estas dificultades desde los niveles de desarrollo cognitivo del alumnado y desde el aspecto de las concepciones alternativas, esto es, ideas gestadas durante la vida del estudiante gracias a sus percepciones y su contacto personal con la realidad. En esta Unidad, sin embargo,

se tratan conceptos e ideas con los que el estudiante nunca ha entrado en contacto pues pertenecen a un dominio de escala microscópica que, aún teniendo consecuencias a escala macroscópica, no se percibe, y además produce fenómenos totalmente alejados de la más mínima lógica racional clásica y que, en su momento supuso y sigue suponiendo, fuente de un debate enconado sobre sus interpretaciones. El aprendiz jamás ha entrado en contacto con el hecho de que una masa pueda estar en varios sitios a la vez, que pueda superar barreras para las que no tiene suficiente energía como por arte de magia, que el observador decida involuntariamente y sin intervenir en el resultado de un experimento, etc. Es por todo ello que se opta en la presente innovación por no tratar dichas concepciones que pertenecen al marco de la Física Clásica y que, en coherencia con la línea seguida, intenta no mezclar dichos ámbitos para evitar la generación en el estudiante de dos paradigmas competitivos (Kalkanis & Hadzidaki & Stavrou, 2003).

Las dificultades consideradas son, por un lado las referidas a las del desarrollo evolutivo del alumnado, las de las representaciones sociales tal como se exponen en los fundamentos didácticos y las que puedan surgir durante el proceso de enseñanza/aprendizaje. Estas últimas están conectadas con la superposición y mezcla de los dos niveles de realidad que establece el alumnado: el de la Física Clásica y el de la Cuántica (Kalkanis & Hadzidaki & Stavrou, 2003) mezclando y confundiendo ambos de forma que aplica conceptos e ideas clásicos a los fenómenos cuánticos, cuando cada nivel de realidad contiene un sistema conceptual totalmente independientes.

Dentro de las dificultades debidas al desarrollo cognoscitivo se consideran aquellas contempladas en la tablas de Shayer y Adey (Shayer & Adey & Cameno, 1984) para el caso del pensamiento formal en el que se podrían encontrar los estudiantes. Según los autores para el caso de la luz, que sería el único afecto a esta Unidad, los aprendices se sienten incómodos con la visión de la luz como onda pues los fenómenos de ésta no parecerían relacionados con las propiedades del modelo de ondas. En esta Unidad ese es el primer tema que se trata a través del fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo, aunque no sea directamente con la luz, pero ya desde el principio se intenta generar en el estudiante un modelo conceptual distinto al clásico en el que esa diferenciación entre partícula y onda se soslaya pues se establece una nueva ontología para los objetos del mundo microscópico. Se

trabaja dicho concepto en la actividad *“Proyección de vídeo sobre el experimento de la doble rendija”* y en casi todas las actividades pues se considera el fenómeno central de la propuesta.

Las dificultades debidas a las representaciones sociales se trabaja explícitamente en la actividad *“Analogía sobre experimento de la doble rendija”*, en donde los estudiantes confrontarán algunas visiones sociales de la Física Cuántica con las científicas, y al final de la Unidad con la actividad *“Proyección vídeo sobre la paradoja del gato de Schrödinger”* en donde se explicita el principio cuántico que les “protege” frente a dichas representaciones: el principio de correspondencia.

El otro ámbito considerado, el de superar las surgidas durante el proceso, forma parte precisamente del contenido principal de esta innovación: fomentar en el alumnado la creación de un sistema conceptual nuevo e independiente basado en una nueva ontología que afecta a los objetos cuánticos y que les desarrolle la capacidad de establecer dos niveles de realidad independientes y no yuxtaponibles: el de la Física Clásica y el de la Física Cuántica (Kalkanis & Hadzidaki & Stavrou, 2003). Todo el desarrollo de la Unidad y las actividades están, por tanto, contemplados para superar esa dificultad, que se considera sin duda la mayor.

#### **4.3. Fundamentos didácticos**

En la actualidad el desarrollo científico-tecnológico se basa en gran medida en las aplicaciones de la Física Cuántica. Todo este desarrollo lleva a la incorporación de contenidos en el curriculum de secundaria (de Barrios & Arias-rueda & Flores, 2014). Sin embargo, muchos autores coinciden en que los conceptos y fenómenos de la Física Cuántica presentan dificultades especiales con respecto a los de la Física Clásica. Son conceptos más abstractos y complejos, totalmente alejados de la intuición, ni siquiera para formarse una lógica personal, una “ciencia de los estudiantes”, basada en interpretaciones acientíficas sobre el comportamiento de la naturaleza.

La Física Cuántica trata de lo microscópico, inaccesible a la observación no científica, pero por otra parte se manifiesta también en el macroscópico, sobre todo a nivel tecnológico (toda la revolución digital está basada en sus principios).

La Física Cuántica es una disciplina que se imparte en segundo de

bachillerato, por tanto el alumnado ya trae consigo conocimientos amplios de Física Clásica, y sobre todo, una visión general de ésta y de sus principales características. Teniendo en cuenta las singularidades de esta materia, ese bagaje que se trae va a condicionar definitivamente el proceso de aprendizaje de la Física Cuántica. Por otra parte, la enseñanza de la mecánica cuántica introductoria es todavía un campo en formación (Castrillón & Freire & Rodríguez, B. 2014) y las investigaciones sobre su comprensión son todavía escasas comparadas con las de otras áreas de la física (Selçuk & Çalýskan, 2009).

En la enseñanza de las ciencias, y en la enseñanza en general, los conocimientos previos de los aprendices condiciona todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, tal como postuló Ausubel, pero en el caso de las ciencias estas ideas previas que trae el alumnado, fruto de sus experiencias y percepciones cotidianas, va a condicionar de manera especial este proceso, determinando su evolución. Estas concepciones alternativas surgen casi desde la cuna y están indeleblemente impresas en los procesos cognitivos del alumnado. Pero estas concepciones, al ser fruto de las interacciones con el mundo práctico y real, y siendo éste el mundo macroscópico, entrarían dentro del campo de estudio de la Física Clásica, y afectaría a sus fenómenos y conceptos. Durante todo el curriculum de secundaria se busca una evolución de estas concepciones hacia concepciones científicas, pero como hemos visto, siempre dentro del ámbito de la Física Clásica. Pero los conceptos y fenómenos de la Física Cuántica no se dan en ese mundo macroscópico, aunque sus consecuencias lo afecten, no pudiendo así formar parte de esas concepciones alternativas. Los estudiantes no se confrontan a lo largo de su vida con conceptos, por ejemplo, como la dualidad onda-corpúsculo, cuantización de la materia-energía, entrelazamiento y teleportación, efecto túnel e influencia de las mediciones en el comportamiento de la naturaleza. Todos estos conceptos chocan frontalmente con todos aquellos que se aprendieron hasta la impartición de esta materia, o sea, con toda la Física Clásica aprendida hasta entonces.

Si bien las concepciones alternativas, tan usuales en la didáctica de las ciencias, no aparecerían en el caso que nos ocupa, sí todas aquellas formas de conocimiento, socialmente elaborados y compartidos por una población homogénea (Moreira & Hilger & Prass, 2009).

Moscovici (Moscovici, 1981) establece dos clases de pensamiento, los

universos reificados y los consensuales. En los universos reificados se produce la ciencia y es el pensamiento científico y erudito, en los consensuales la interacción social cotidiana genera las teorías del sentido común y la lógica natural. Es en estos universos consensuales donde, utilizando los frutos producidos en los universos reificados, se producen las representaciones sociales. Estas representaciones no son lo mismo que las concepciones alternativas pues éstas las produce el individuo individualmente mientras aquellas son elaboradas socialmente a partir de los conocimientos surgidos en los universos reificados, por ejemplo: clonación, transgénicos, calentamiento global, etc.

Para Moscovici las representaciones sociales surgen cuando se produce una *dispersión de información*, debidas a la utilización de fuentes no originales, una *focalización*, que indica el posicionamiento social frente a ese conocimiento y una *presión a la inferencia*, como la obligación individual a la toma de posicionamiento frente a cierto conocimiento.

Todas estas representaciones sociales y su forma de generación se dan, para él, en la Física Cuántica, ideas como: “conciencia cuántica”, “alma cuántica”, “ser cuántico”, “psíquica cuántica”, “reconciliación cuántica”, “vida cuántica”, “coaching cuántico”, “economía cuántica solidaria”, “sociedad cuántica”, etc, etc. dificultan y obstaculizan la enseñanza de ideas opuestas a la Física Clásica enseñada hasta entonces, y a cualquier tipo de lógica que no sea cuántica, o sea, a toda la lógica que el estudiante ha conocido. Una característica especial en este tipo de representaciones es que también son apoyadas y fomentadas por personas con muy buena formación en física (Moreira & Hilger & Prass, 2009).

El temario previsto es especial en el sentido de contener muy poco aparato matemático y muchos conceptos totalmente nuevos e incomprensibles. Se presentan fenómenos alejados del razonamiento clásico pero, sin embargo, con gran aplicabilidad tecnológica mostrando así una gran contradicción entre conceptos exóticos e ilógicos cuya aplicación es la base de la mayor parte del desarrollo tecnológico actual. Por tanto, Greca & Herscovitz, 2002 contemplan una metodología basada en la aceptación e integración de nuevas ideas y fenómenos, siendo éstas las mayores dificultades de los contenidos de la unidad. En este sentido lo denominan un acercamiento desde el punto de vista fenomenológico-conceptual.

Solbes (1996) no considera adecuado, como es tradicional, ver la



cuantización estudiando la radiación de cuerpo negro y la hipótesis de Planck, pues se basa en principios termodinámicos y electromagnéticos que todavía no dominan los estudiantes.

Con este acercamiento fenomenológico se busca superar lo que es probablemente la mayor dificultad: la ontológica (Solves, 2009). Lo aprendices no llegan a comprender que los objetos cuánticos son nuevos objetos distintos de los clásicos y con un comportamiento también nuevo e inaccesible a la intuición.

Halbwachs, (1977) distingue tres tipos de explicaciones en Física: la heterogénea, la homogénea y la batígena. Con la heterogénea o causal se hace intervenir la acción del mundo exterior sobre el sistema físico en estudio, formándose una relación unívoca entre un sistema agente y un sistema paciente; la homogénea es más formal y descriptiva de las cualidades del fenómeno sin recurrir a agentes externos acentuando el “cómo” al “porqué”. En el tercer tipo, en la batígena se apela a los mecanismos más profundos del fenómeno, surgiendo de éstos las leyes y principios que los gobiernan (Cárdenas & Ragout de Lozano, 1996). La investigación educativa ha demostrado que esta explicación es la que más satisface a los estudiantes y la que más favorece el aprendizaje significativo (Brown, 1992) , tal como también se señala en Cárdenas & Ragout de Lozano, 1996.

Por otro lado Kalkanis & Hadzidaki & Stavrou, 2003, establecen dos niveles de realidad: el Clásico y el Cuántico, según sus tesis los estudiantes tienden a confundirlos, mezclándolos y yuxponiéndolos por lo que aplica ideas y conceptos clásicos al mundo microscópico, creando obstáculos epistemológicos en la adquisición de conocimiento en Física Cuántica. Así, crean además un conflicto de paradigmas inexistente, pues el paradigma cuántico ya desplazó al clásico, que les supone un conflicto cognitivo y que les lleva a utilizar el esquema conceptual y ontológico clásico en el cuántico.

## **5. PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA MEJORADA**

### **5.1. Justificación de la propuesta didáctica mejorada**

*"Si usted piensa que entiende a la mecánica cuántica es que no la ha entendido"*

Richard Feynman

Que el alumnado tome como suya y comprenda la cita de Feynman representa el principal objetivo de esta propuesta.

Con la integración por parte de los estudiantes de dicha frase se habrá logrado que éstos hayan logrado comprender no sólo la necesidad de crear y elaborar una nueva ontología sobre el mundo microscópico sino también la generación de una "intuición cuántica" que les permita explicar y predecir resultados de los fenómenos cuánticos estudiados y conocer y enunciar principios y leyes que los explican, pudiendo procesar una nueva forma de pensar y una nueva lógica que les servirá para su desarrollo cognitivo y para despertar en ellos una curiosidad y afán de conocimiento en una disciplina en la que, probablemente, se origine la gran revolución futura en el desarrollo humano desde el punto de vista tecnológico y epistemológico. Entendiendo dicha cita los aprendices habrán captado las carencias ontológicas de la realidad (Lapiedra, 2008) que impiden, por ejemplo, asignar elementos de realidad física en el sentido de la paradoja EPR (Einstein, Podolsky y Rosen) antes de realizar cualquier medida; habrán comprendido que la impredecibilidad de la Física Cuántica forma parte del ser mismo de los objetos que estudia y no a causa de impedimentos prácticos o tecnológicos. Para llegar a esa elaboración antes habrán debido estudiar y reflexionar sobre todos los fenómenos y conceptos que se presentan en la Unidad, y su aprendizaje y posterior comprensión les hará entender el trasfondo de la cita en todos sus matices.

Esta innovación busca también una nueva forma de aprender, en contradicción, en parte, a los presupuestos constructivistas en los que, en general, se basa esta mejora. No se busca la generación de la nueva ontología a partir de los conocimientos y experiencias previas del alumnado: no existen éstos cuando decimos que una partícula puede estar en varios sitios a la vez, cuando puede atravesar barreras para las que no tiene energía suficiente, cuando el observador determina cómo esta se va a manifestar estando previamente en una superposición de estados incompatibles a cualquier lógica (por ejemplo en varios orbitales atómicos a la vez). Pretende que el alumnado asuma el paradigma cuántico como el único existente actualmente y que sea capaz de asumir que la Física Clásica es una

caso particular de la Cuántica (tal como se deduce del Teorema de Ehrenfest), pero que sepa distinguir claramente los ámbitos de aplicación de cada una de ellas, salvaguardándolos así de las concepciones esotéricas y manipulativas de la Mecánica Cuántica y permitiendo desarrollar en ellos un “espíritu científico” e incluso el fomento de vocaciones científicas.

Sin duda esta Unidad se presta a todo ello y durante las prácticas se pudo comprobar cómo despierta en los estudiantes una curiosidad especial y un afán de conocer que les servirá en su desarrollo educativo futuro así como en su crecimiento como personas.

Por último en la investigación educativa se puede comprobar resultados de investigaciones que reflejan que la forma tradicional de introducir los conceptos cuánticos no logra favorecer su aprendizaje, probablemente debido a que se siguen visualizando e intentando comprender desde presupuestos y modelos mentales de la Física Clásica (Greca & Herscovitz, 2002). Se contempla esta innovación con la voluntad de mejorar dichos resultados.

## **5.2. Desarrollo de la propuesta didáctica mejorada**

### **5.2.1. Contenidos**

Los contenidos de la propuesta están dentro del bloque Física del siglo XX según el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Según dicho Decreto éstos son:

Física Cuántica.

Insuficiencia de la Física Clásica.

Orígenes de la Física Cuántica.

Problemas precursores.

Interpretación probabilística de la Física Cuántica.

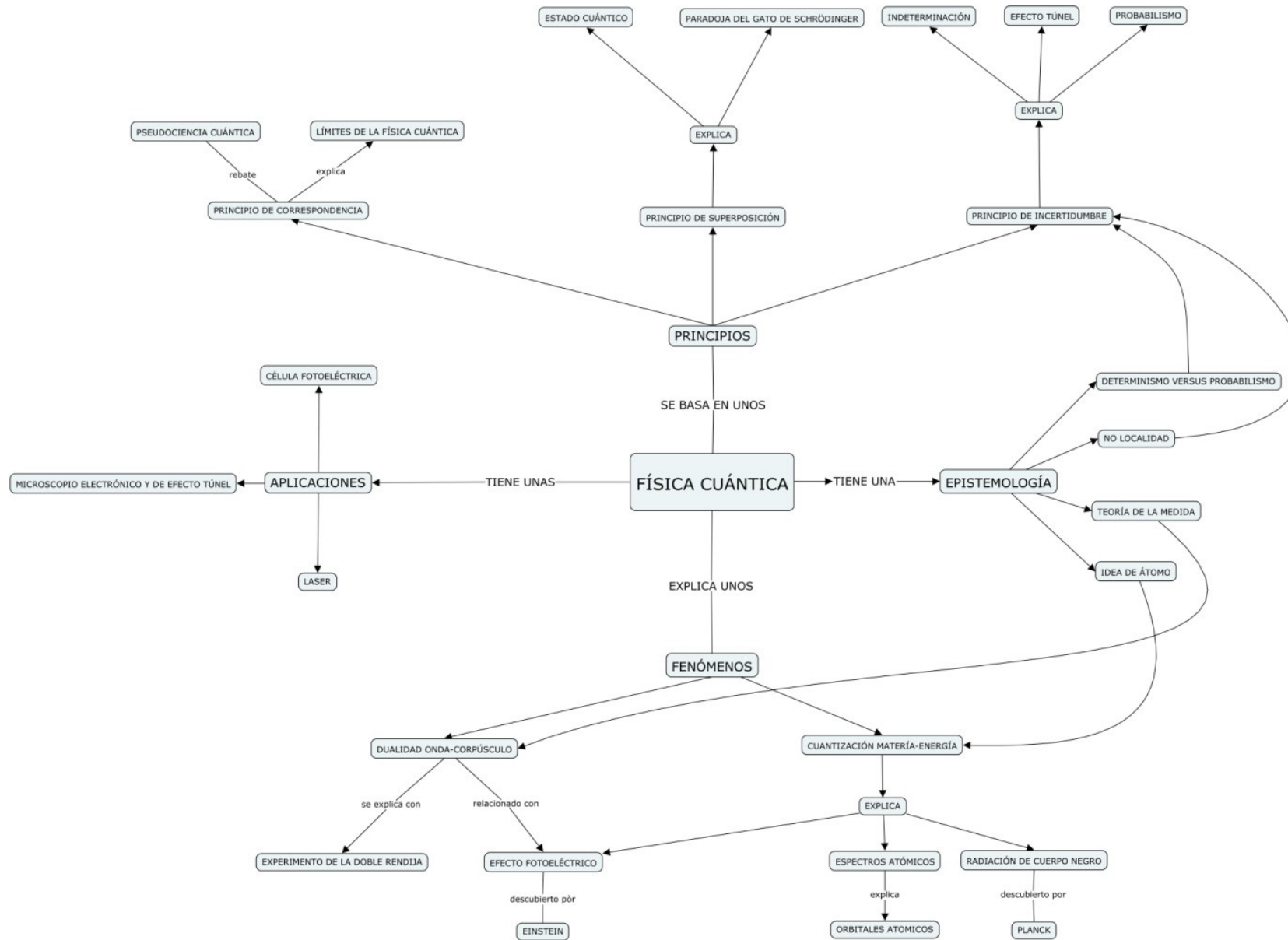
Aplicaciones de la Física Cuántica. El Láser.

Sin embargo en la presente mejora estos contenidos se contemplan y amplían.

A continuación se presentan un mapa conceptual sobre los conceptos e ideas

*Manuel Valverde Romero*

de la Unidad, así como de sus relaciones



### **5.2.2. Objetivos**

Los objetivos de la presente propuesta son, en concordancia con la línea didáctica de la innovación propuesta, los siguientes:

- Comprender los fenómenos de la dualidad onda-corpúsculo y la cuantización de la energía. Saber interpretar y predecir su comportamiento, conociendo todas las variables que intervienen y su relación. Identificar los aspectos ilógicos de ellos y, así, percibir la necesidad de la generación de una nueva ontología de los objetos que intervienen en ellos.
- Deducir conceptualmente del fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo la hipótesis de De Broglie, el efecto fotoeléctrico, el principio de incertidumbre, el efecto túnel y el principio de superposición. Saber explicar coherentemente cada uno de ellos y sus interrelaciones a través de las variables que les afectan.
- Deducir conceptualmente del fenómeno de la cuantización de la energía, junto con el de la dualidad onda-corpúsculo, la estructura del átomo cuántico y la radiación de cuerpo negro. Entender el concepto cuántico de orbital y saber enunciar las características de la radiación de cuerpo negro, conectando todo ello con las características cuánticas inherentes de los objetos afectados por la Física Cuántica.
- Reconocer los principales modelos atómicos a lo largo de la historia del conocimiento, sus semejanzas y diferencias y comprender los objetivos del uso de dichos modelos identificando y diferenciando las características ontológicas de cada uno.
- Enunciar aplicaciones de la Física Cuántica en la tecnología actual y futura, valorando su importancia en el desarrollo socioeconómico de la sociedad y sus aportaciones al desarrollo humano.
- Conocer las implicaciones epistemológicas de las ideas y conceptos que maneja la Física Cuántica y los actuales debates en cuanto a su interpretación, enmarcando cada una de ellas en su contexto histórico.
- Diferenciar los campos de aplicación de la Física Clásica y la Cuántica a partir del principio de correspondencia como forma de eludir la creación de

paradigmas coexistentes y las extrapolaciones esotéricas y manipulativas de ésta en aquella.

### **5.2.3. Competencias abordadas**

A continuación se muestra una tabla explicativa con los elementos de la competencia científica previstos que se desarrollan en la Unidad así como su vinculación con otras competencias clave.

FÍSICA CUÁNTICA			
Conocimientos científicos	Habilidades y destrezas científicas	Aprendizaje sobre la naturaleza de las ciencias	Interacción con la realidad. Actitudes, valores y participación en contextos
<p>Dualidad onda - corpúsculo</p> <p>Espectros electromagnéticos. Espectros atómicos</p> <p>El átomo</p> <p>Cuantización de la energía</p> <p>Orbitales atómicos</p> <p>El láser</p> <p>Efecto fotoeléctrico</p> <p>Principio de incertidumbre. Magnitudes complementarias y probabilismo</p> <p>Espín</p> <p>Radiación de cuerpo negro</p> <p>Función de onda. Efecto túnel</p> <p>Principio de superposición. Paradoja del Gato de Schrödinger</p>	<p>Utilizar herramientas digitales, tanto de búsqueda de información científica como de programas de aplicación práctica (CD)</p> <p>Estimar órdenes de magnitud en función de la escala considerada (CM)</p> <p>Distinguir interpretaciones y explicaciones científicas y objetivas de aquellas pseudo científicas, diferenciando creencias de objetividad</p> <p>Formular preguntas y establecer hipótesis sobre la interpretación de la fenomenología cuántica (CAA)</p> <p>Saber interpretar y explicar la utilización de la temperatura como medida del color (CM)</p> <p>Realiza experimentos sencillos (incluidos <i>Gedankenexperimente</i> ) para saber interpretar los resultados de forma objetiva y</p>	<p>Influencia del positivismo en la aceptación de la mecánica cuántica</p> <p>Mostrar, a través de la exactitud de la Física Cuántica, la capacidad de predicción de las teorías científicas</p> <p>Evolución de los conceptos de partícula, onda, medida, realidad física a lo largo de la historia, su interpretación desde un punto de vista epistemológico y su conexión con el entorno socioeconómico del momento (CAA y CEC)</p> <p>Actuales debates en</p>	<p>Razonamiento crítico, objetivo y analítico para la búsqueda de soluciones a problemas afectos a la sociedad en su conjunto (CSC)</p> <p>Influencia de las teorías alternativas pseudocientíficas con la Física Cuántica de trasfondo y de sus aplicaciones en el progreso de la ciencia</p> <p>Aplicaciones de la energía fotovoltaica. El problema de los recursos energéticos (CSC y CM)</p>



FÍSICA CUÁNTICA			
Conocimientos científicos	Habilidades y destrezas científicas	Aprendizaje sobre la naturaleza de las ciencias	Interacción con la realidad. Actitudes, valores y participación en contextos
	ausente de prejuicios afectos a la Física Clásica (CD y CL)	ciencia	

CL: Comunicación lingüística

CD: Competencia digital

CM: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología

CAA: Competencia de aprender a aprender

CSC: Competencia social y cívica

SIEE: Sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor

CEC: Conciencia y expresiones culturales.

Partiendo de los conocimientos científicos que se imparten se pretende también, no sólo una formación científica, sino también una formación para el desarrollo de ciudadanos libres, comprometidos y críticos. La enseñanza de las ciencias favorece dicho posicionamiento, pues ésta en sí misma está caracterizada por unos productos, métodos y valores que favorecen dicha formación. Así, además de la componente estrictamente científica se busca una formación transversal en competencias claves para la formación como personas y no sólo como alumnos. En cumplimiento de la legislación vigente se busca el aprendizaje de algunas y/o todas de las siguientes competencias:

- a) Comunicación lingüística.
- b) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
- c) Competencia digital.
- d) Aprender a aprender.
- e) Competencias sociales y cívicas.
- f) Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.
- g) Conciencia y expresiones culturales.

Dentro del planteamiento de la unidad se trabajarán las siguientes competencias:

*a) Comunicación lingüística.*

Se trabajarán por medio de los numerosos debates y puestas en común planteadas que permitirán la elaboración y defensa de argumentos e ideas, fomentando una comunicación asertiva y respetuosa.

*b) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.*

No se consideran pues, por una parte al ser una disciplina científica ya se considera la competencia en ciencia y tecnología, y por otra, el aparato matemático utilizado en la unidad es escaso y sencillo. Sólo se podría considerar en el apartado donde se trata la superposición cuántica, en dónde se hace un somero repaso del cálculo vectorial.

*c) Competencia digital.*

Por medio del uso de la pizarra digital que deberá usar el alumnado y los numerosos applets previstos. Con ellos se fomenta el uso de interfaces gráficos, menús, etc, además de aprender el manejo y ejecución de programas en java y sus compatibilidades con los exploradores. También se fomentará a través de la búsqueda de información por internet en aquellas actividades que lo tienen previsto. Es previsible que el alumnado ya parta con dichos conocimientos, o al menos parte de ellos.

*d) Aprender a aprender.*

Durante todo el desarrollo de la unidad los estudiantes deberán asumir conceptos e ideas que rompen con todo su sistema de razonamiento anterior, descubriendo una nueva lógica y una nueva ontología que les exigirá replantearse sus procesos de aprendizaje basados en su construcción a través de los conocimientos y experiencias previas. Necesitarán por ello aprender una nueva forma de aprender basada más en la asunción de nuevas ontologías a través del estudio y análisis de los fenómenos cuánticos.

*e) Competencias sociales y cívicas.*

Se trabajará a través del planteamiento CTS de la unidad sobre las aplicaciones de la Física Cuántica y con éstas han influido en nuestro estilo de vida. Por ejemplo en las actividades *“Búsqueda de aplicaciones carácter ondulatorio electrones”*, *“Las aplicaciones de la Física Cuántica en un día de mi vida”* y por las cuestiones sobre la aplicabilidad del láser en la actividad con applet sobre dicho tema.

*f) Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.*

No se contempla.

*g) Conciencia y expresiones culturales.*

Durante las explicaciones de la evolución de los modelos atómicos a lo largo de la historia se buscará una conexión entre el desarrollo de dichos modelos y la cosmovisión del momento histórico y las influencias del desarrollo socioeconómico con aquella., por ejemplo, la visión racionalista y determinista del universo laplaciano en un siglo de revoluciones y ascenso de una burguesía liberal, materialista y

racionalista.

#### **5.2.4. Metodología**

La metodología de la presente Unidad Didáctica se enmarca, en general, dentro del ámbito socio-constructivista. En este ámbito se pretende el aprendizaje significativo, en el que el alumnado construye activamente significados a partir de las relaciones que establece con el conocimiento previo, y siendo él mismo responsable de su propio aprendizaje teniendo en cuenta el entorno en el que se produce, y fomentándose con una enseñanza basada en investigación en torno a problemas.

En la didáctica de la Física Cuántica se observan diferentes tendencias metodológicas: algunas basadas en establecer secuencias basadas en modelos históricos, otras en aspectos fenomenológicos, otras epistemológicas e incluso adoptando el método de Feynman de caminos múltiples.

Aunque la mayoría opta, en contraste con la Física Clásica, por una visión histórica comenzando casi siempre por la radiación de cuerpo negro, en esta Unidad Didáctica se optará por una visión fenomenológica– conceptual (Greca & Herscovitz, 2002) apoyándose también en las tesis de Halbwachs, (1977) y Kalkanis & Hadzidaki & Stavrou, 2003.

Se da prioridad a todos aquellos fenómenos que admiten una explicación en concordancia con los fundamentos teóricos de la propuesta de mejora y del que se deducen principios y conceptos. Para ello se partirá de los principales fenómenos cuánticos y con su estudio se pretende la creación de una nueva percepción en el alumnado, de forma que la esencia de los conceptos fundamentales que en ellos intervienen surjan en los estudiantes de forma natural y evidente como consecuencia del estudio de dichos fenómenos (Greca & Herscovitz, 2002).

Por otra parte se opta por una explicación batígena de los fenómenos para favorecer el aprendizaje significativo y satisfacer las necesidades cognitivas de los estudiantes. La radiación de cuerpo negro se basa en fenómenos de osciladores armónicos que exceden con mucho el nivel del alumnado, por lo que no admitiría dicho planteamiento, pero éste está en el curriculum y se verá con posterioridad cuando los estudiantes ya han entrado en contacto con otros fenómenos que sí admiten una explicación al nivel físico-matemático de los aprendices y que permite una explicación batígena en concordancia con los planteamientos asumidos en esta

mejora. Para favorecer su asimilación se plantea una analogía con diversas actividades para que los alumnos puedan captar el factor determinante en la resolución del problema de la radiación de cuerpo negro y lo relacione con lo visto hasta el momento: la cuantización de la energía, pudiendo así reforzar uno de los fenómenos que en esta Unidad se han considerado como raíz para el desarrollo del resto de contenidos.

Se asumen también las tesis de Kalkanis & Hadzidaki & Stavrou, 2003, de establecimiento de dos niveles de realidad que los estudiantes tienden a mezclar por lo que provocan un conflicto de paradigmas inexistente, aplicando ideas y conceptos clásicos al mundo microscópico. Se consideran dichas tesis coherentes con el modelo fenomenológico-conceptual si bien no se utiliza el modelo del átomo de hidrógeno como base de dicho planteamiento como hacen los autores pues contiene en sí el fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo para su correcta explicación batígena, y por tanto se introduce éste en primer lugar.

Se aplicará también una fuerte visión CTS como medio para acercar los conceptos y fenómenos a los aprendices, dándoles significado y actualidad, acercándolos a los estudiantes para fomentar su curiosidad y motivación. Además dicho enfoque favorece una sensación de realidad de los conceptos y fenómenos cuánticos tan extraños al conectarlos con la tecnología, no son sólo “elucubraciones conceptuales” sino más bien una explicación e interpretación de la ciencia sobre la misma realidad, con aplicación práctica y que intenta mejorar la calidad de vida. Así se realiza una actividad sobre las aplicaciones de la Mecánica Cuántica más cercana a las experiencias personales de los aprendices.

No se consideran las concepciones alternativas pero, en su lugar, se intentará superar la rémora para el aprendizaje que pueden suponer las representaciones sociales. Así, se asumen para la realización de esta Unidad Didáctica las tesis de Moscovici sobre las representaciones sociales y se trabaja con frecuencia con las interpretaciones alternativas a las científicas de la Física Cuántica.

La enseñanza/aprendizaje es un acto de comunicación (Sanmartí, 2000) entre los distintos actores del proceso didáctico, por tanto se ha dado especial énfasis en favorecer y desarrollar ésta a través de las condiciones necesarias para que se produzca de forma óptima. Sanmartí, 2000 indica que debe organizarse el aula para

favorecer una *verbalización* de los conocimientos como forma de aprendizaje siguiendo las teorías de Vitgosky; esto favorece la *explicitación* de las representaciones y su *contrastación* entre ellas, lo que exige una *negociación* y una *concertación* final como síntesis. Todo ello se hará con actividades fomentando la participación del alumnado y la verbalización por parte de éste de todas sus ideas y reflexiones, así se permite intercambiar y negociar significados de lo que se aprende, para generar aprendizajes significativos (Vytgotski).

Para conseguir dichos objetivos se plantean muchas actividades cooperativas entre dos o tres estudiantes y debates guiados en donde el alumnado deberá realizar todo ese proceso. Tareas de discusión y reflexión conjunta o en pequeños grupos en las que el alumnado gracias a este proceso de verbalización podrá ir construyendo saber mientras éste se va negociando. El papel del enseñante será el de guía y regulador realizando una intervención mínima para favorecer el trabajo autónomo de construcción personal cognitiva. También se han planteado diversas analogías como forma de acercar y comprender los fenómenos cuánticos y las relaciones entre concepto al alumnado. Se ha realizado rehuendo con analogías con la Física Clásica que pueden entorpecer el objetivo de desarrollar una “intuición cuántica” (Greca & Herscovitz, 2002) y que el alumnado tienda a mezclar conceptos sin poder estructurar los nuevos.

El enfoque fenomenológico– conceptual (Greca & Herscovitz, 2002) adoptado en esta Unidad, busca presentar los principios cuánticos como determinantes de otra realidad y, a través de los fenómenos que se explican en las distintas actividades, mostrar a los estudiantes que éstos son consecuencia directa de aquellos. Se estudian fenómenos lo más sencillos posibles para destilar los conceptos fundamentales de los que el alumnado se busca construya una nueva ontología.

Los fenómenos fundamentales que se consideran son la dualidad onda-corpúsculo y la cuantización de la energía. A partir del primero se deduce la hipótesis de De Broglie, el efecto fotoeléctrico, el principio de incertidumbre, el efecto túnel y el principio de superposición. Con la cuantización de la energía se llega a la estructura del átomo (junto con la dualidad onda-corpúsculo) y la radiación de cuerpo negro. Se sigue con las actividades esta secuenciación lógica y coherente con el enfoque de la mejora en la Unidad Didáctica y se acentúan las actividades referidas a ambos fenómenos fundamentales a través de pequeños experimentos, analogías,

problemas, aplicaciones prácticas, fomentando la *verbalización*, la *explicitación*, la *contrastación*, la *negociación* y la *concertación* (Sanmartí, 2000) de los conocimientos gracias a actividades grupales y debates colectivos enfocados a resaltar los conceptos subyacentes para la autogeneración de una nueva ontología.

No se pueden usar experiencias de laboratorio como sería conveniente porque exigiría unos equipos muy caros de los que ningún instituto dispone. Para suplir dicha carencia se han diseñado pequeños experimentos con materiales fáciles de encontrar y que reproducen muchos de los fenómenos estudiados. También se utilizan recursos digitales a través de simulaciones por ordenador que permiten reproducir perfectamente el fenómeno estudiado, y así poder no sólo comprender y visualizar éste, sino también poder valorar la influencia de las distintas variables que lo explican, todo ello desde un punto de vista basado en una investigación personal en torno a problemas. Las reproducciones video gráficas también son contempladas como recurso explicativo, clarificador y de motivación para los aprendices, pero siempre intentando no abusar de ellas por su carácter eminentemente pasivo que se opone a los principios didácticos por los que se optado para la realización de esta mejora.

Durante todas las sesiones y siempre al comienzo de éstas, también se realizarán resúmenes de la sesión anterior a través de las cuestiones planteadas por el docente y sus explicaciones. También se expondrán los contenidos previstos a trabajar en cada sesión para que el alumnado tenga la información sobre los temas que se trabajarán y les fomente una sensación de coherencia y seguridad en su aprendizaje.

No se obvia tampoco el carácter inevitablemente propedéutico del curso en el que se enmarca la Unidad. El alumnado tiene derecho a recibir la formación adecuada y la práctica necesaria para la superación del examen de selectividad. Esta responsabilidad no se elude y se plantean hojas de problemas con cuestiones y problemas extraídos de exámenes de selectividad de años anteriores, realizándose al final de la Unidad un examen con esos contenidos para que los estudiantes puedan autoevaluar su preparación para la superación de la selectividad.

### **5.3. Propuesta de actividades**

A continuación, se presentan las actividades con su secuenciación. Estas se basan en las etapas en el proceso de aprendizaje de Jorba & Sanmartí, 1996:

- **Actividades de exploración:** se parte de situaciones reales, concretas y simples para que los alumnos sepan los objetivos del aprendizaje y reconocer los conocimientos previos del alumnado.
- **Actividades de introducción del concepto o procedimiento:** construcción del conocimiento desde lo más intuitivo a lo más abstracto para favorecer ésta por parte del alumno.
- **Actividades de estructuración:** actividades de sistematización y estructuración lógica.
- **Actividades de aplicación:** aplicación del concepto o procedimiento a situaciones reales para interpretar la realidad y saber poner en práctica lo aprendido reconociendo su utilidad.

Estas actividades permiten una evolución simultánea de lo concreto a lo abstracto y de lo simple a lo complejo.

Como en esta unidad no se contempla un proceso de cambio conceptual; no existen conceptos cuánticos o similares previos, se adopta el modelo de Jorba & Sanmartí, 1996 y Sanmartí, 2000, basado en la construcción significativa de conocimientos.



SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
1	EXPLORACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué sé del electrón y del átomo?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestionario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploración de ideas previas</li> </ul>
1 y 2	INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO O PROCEDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué es una partícula y qué una onda?</li> <li>• ¿Qué es el electrón?</li> <li>• ¿Qué es la luz?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyección de vídeo sobre el experimento de la doble rendija.</li> <li>• Debate sobre las implicaciones de lo visto</li> <li>• Actividad sobre el experimento de la doble rendija (anexo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivación del alumnado</li> <li>• Introducción conceptual de objeto cuántico</li> <li>• Concienciar sobre el carácter temporal de las teorías científicas</li> <li>• Dualidad onda-corpúsculo</li> <li>• Introducción a la teoría cuántica de la medida</li> <li>• Trasmitir el fracaso de la Física Clásica para explicar ciertos fenómenos</li> <li>• Fomentar competencias lingüísticas</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
2 y 3	ESTRUCTURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué pasaría si los fenómenos cuánticos se mostraran en el mundo macroscópico?</li> <li>• ¿Qué he aprendido sobre la dualidad onda-corpúsculo?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analogía sobre experimento de la doble rendija (anexo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforzar conceptos nuevos y mostrar la ruptura de la lógica cuántica con la clásica</li> <li>• Promover una visión de la ciencia abierta y provisional</li> <li>• Saber diferenciar las teorías científicas de la que no lo son y reforzar la capacidad de análisis crítico</li> <li>• Fomentar la capacidad de trabajo en grupo</li> </ul>
3	APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo calcular la longitud de onda de un objeto cuántico?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problema abierto sobre longitud de onda de De Broglie</li> <li>• Búsqueda de aplicaciones carácter ondulatorio electrones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover competencias en la resolución de problemas</li> <li>• Capacidad de estimación de magnitudes físicas</li> <li>• Promover una visión de la ciencia como algo útil en el progreso y bienestar</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
				<p>humanos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consecuencias CTS de la dualidad onda corpúsculo</li> <li>• Fomentar la capacidad de trabajo en grupo</li> </ul>
4 y 5	INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO O PROCEDIMIENTO ESTRUCTURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué es la luz?</li> <li>• ¿Por qué los objetos tienen color?</li> <li>• ¿Por qué el sol tiene color?</li> <li>• ¿Cómo ha evolucionado la idea del átomo a lo largo de la historia?</li> <li>• ¿Qué es la cuantización de la energía?</li> <li>• ¿Qué es el espectro electromagnético?</li> <li>• ¿Tienen color los átomos?</li> <li>• ¿Cómo se distinguen los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición sobre el espectro electromagnético</li> <li>• Exposición magistral sobre las distintas concepciones del átomo a lo largo de la historia</li> <li>• Experimentos sobre espectros</li> <li>• Proyección de vídeo sobre cuantización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repaso sobre conceptos del campo electromagnético</li> <li>• Mostrar cómo evoluciona la ciencia</li> <li>• Epistemología sobre el concepto de átomo</li> <li>• Introducción del concepto de discontinuidad de la energía</li> <li>• Fomentar competencias lingüísticas</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
		átomos?		
5	APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo calcular la energía de las transiciones electrónicas?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realización de problemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afianzar la idea de que la Física Cuántica explica fenómenos reales</li> <li>• Desarrollar competencias de resolución de problemas</li> </ul>
5 y 6	ESTRUCTURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo funciona un láser?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad con applet sobre el láser</li> <li>• Visualización de un vídeo sobre el Láser y debate posterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprender el funcionamiento del láser</li> <li>• Relacionar sus principios con los espectros atómicos y la cuantización</li> <li>• Aplicaciones CTS de la Física Cuántica</li> <li>• Fomentar competencias lingüísticas en inglés</li> </ul>
6 y 7	ESTRUCTURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo funciona la energía fotovoltaica?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimento con juguete con célula fotovoltaica y resolución de cuestiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto fotoeléctrico</li> <li>• Energía solar fotovoltaica</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad con applet sobre el efecto fotoeléctrico y cuestiones anexas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomentar competencias social y cívica</li> <li>• Fomentar competencias digitales</li> </ul>
7 y 8	APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo influye cada una de las variables en el efecto fotoeléctrico?</li> <li>• ¿Cómo se calculan éstas?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de problemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar competencias de resolución de problemas</li> <li>• Desarrollar capacidades de representación gráfica y de interrelación de variables</li> </ul>
9	APLICACIÓN ESTRUCTURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo me influyen en mi vida algunas aplicaciones de la Física Cuántica?</li> <li>• ¿Cómo se deduce la fórmula de De Broglie?</li> <li>• ¿Cómo puede una partícula tener masa cero?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las aplicaciones de la Física Cuántica en un día de mi vida</li> <li>• Problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones CTS de la Física Cuántica</li> <li>• Demostrar la utilidad del trabajo científico</li> <li>• Competencias matemáticas</li> <li>• Resolver la paradoja de partícula de masa cero</li> <li>• Efecto Compton</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
10 y 11	INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO O PROCEDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Por qué el átomo es tan grande ?</li> <li>• ¿Podemos saber dónde está el electrón en el átomo?</li> <li>• ¿Podemos medir todo con precisión absoluta?</li> <li>• ¿Existen las trayectorias?</li> <li>• ¿Cómo son los orbitales atómicos?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problema</li> <li>• Deducción de la relación de Heisenberg (anexo)</li> <li>• Actividad con applet sobre orbitales atómicos</li> <li>• Visualización de un vídeo sobre el átomo y cuestión posterior.</li> <li>• Clase magistral sobre el espín</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principio de incertidumbre de Heisenberg</li> <li>• Afianzar la idea de la mecánica cuántica como una teoría probabilística</li> <li>• Relacionar la configuración del átomo con su posición en la tabla periódica</li> <li>• Espín. Principio de exclusión de Pauli</li> <li>• Mostrar la versión moderna de átomo</li> </ul>
11	INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO O PROCEDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Porqué los cuerpos cambian su color con la temperatura?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sesión magistral sobre la radiación de cuerpo negro</li> <li>• Actividad con applet sobre el espectro de cuerpo negro</li> <li>• Analogía sobre cuerpo negro (anexo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de cuerpo negro</li> <li>• Fracaso de la Física Clásica: catástrofe ultravioleta</li> <li>• Radiación de cuerpo negro. Hipótesis de Planck</li> <li>• Fomentar competencias</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
				digitales
12 y 13	APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Estoy preparado para selectividad?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de cuestiones y problemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar competencias de resolución de problemas</li> <li>• Preparación para el examen de selectividad</li> </ul>
14	INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO O PROCEDIMIENTO APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Puede estar el electrón en varios sitios a la vez?</li> <li>• ¿Cómo se representa el estado cuántico?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad con applet sobre el efecto túnel y proyección de vídeo</li> <li>• Clase magistral sobre el principio de superposición</li> <li>• Experimento polarizadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecuación de Schrödinger y función de onda</li> <li>• Efecto túnel</li> <li>• Principio de superposición</li> <li>• Microscopio de efecto túnel</li> <li>• Mostrar aspectos CTS de la Física Cuántica</li> <li>• Fomentar competencias lingüísticas</li> </ul>
15	ESTRUCTURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Está el gato vivo o muerto?</li> <li>• ¿Por qué no se manifiestan los fenómenos cuánticos en</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyección vídeo sobre la paradoja del gato de Schrödinger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paradoja del gato de Schrödinger</li> <li>• Principio de correspondencia</li> </ul>

SESIÓN	FASE	CUESTIONES CENTRALES	TAREAS PLANTEADAS	INTENCIONES DIDÁCTICAS
		el mundo macroscópico?		
15	APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué he aprendido?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prueba de evaluación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación sobre el aprendizaje</li> <li>• Calificación</li> </ul>
16	APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Estoy preparado para la selectividad?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autoevaluación de las competencias necesarias para aprobar el examen de selectividad</li> </ul>



A continuación se exponen todas las actividades realizadas para la impartición de la Unidad Didáctica

## **SESIÓN 1**

### *Objetivos:*

El sondeo de las ideas previas de los alumnos y alumnas sobre los contenidos de la Unidad, para así poder valorar adecuadamente las dificultades y necesidades de aprendizaje.

El cuestionario busca discernir las ideas del alumnado sobre el átomo y su configuración, sobre su idea de partícula

### *Materiales:*

#### Cuestionario:

- 1.- ¿Cómo crees que es el átomo?. Define su configuración y cómo y de qué está formado.*
- 2.- ¿Qué es para ti la luz?*
- 3.- ¿Qué opinas que es el electrón?*
- 4.- ¿Crees que siempre se puede medir cualquier variable física (por ejemplo posición, velocidad, energía, etc.) con total precisión?*
- 5.- ¿Qué rama o parte de la física de las que conoces crees que más ha influido en el desarrollo humano?*

### *Procedimiento:*

Se les presenta al alumnado el cuestionario para su resolución individual.

### *Evaluación:*

El docente extraerá de dicho cuestionario las posibles concepciones equivocadas sobre los conceptos y las ideas que subyacen en las preguntas planteadas.

## Proyección de vídeo sobre el experimento de la doble rendija



*“Elijamos examinar un fenómeno que es imposible, absolutamente imposible, de explicar en cualquier forma clásica, y que contiene la esencia de la Mecánica Cuántica. En realidad contiene el único misterio”.*

Richard P. Feynman (Premio Nobel de Física 1965) en referencia al experimento de la doble rendija (Feynman & Leighton & Sands, 1963)

### *Objetivos:*

Parafraseando a Richard Feynman se pretende presentar al alumnado el misterio más fundamental de la Física Cuántica a través de un video explicativo, clarificador y visualmente atractivo. Se busca con dicho vídeo presentar el famoso experimento que explica el fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo, para explicar este fenómeno y como forma de motivación y de despertar la curiosidad hacia la Física Cuántica. Conectar dicha dualidad también con la luz.

Analizar, asimismo, las similitudes y diferencias entre ondas y partículas y mostrar la incapacidad de la Física Clásica para explicar dicho experimento y, con ello, la necesidad de buscar nuevas teorías para comprenderlo.

Asumir la necesidad de la concepción de una nueva entidad ontológica totalmente distinta a la vista hasta entonces: la entidad cuántica o cuantón, y poder integrar su no equivalencia en la Física Clásica.

### *Materiales:*

Pizarra digital o proyector de vídeo con conexión a internet

Puntero diodo láser

Decóder de impresora de inyección aportado por el profesor

Vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=SzX-R38dZQw>

*Procedimiento:*

Se expondrá al alumnado el vídeo sin explicaciones previas. En el momento en que aparece la figura de interferencia se cortará la proyección (1:43) y se realizará el experimento con el puntero láser y el decóder de impresora. Se les indica a los estudiantes el procedimiento y se les muestra la foto realizada con microscopio en donde se distinguen las ranuras del decóder. A continuación se sigue con la proyección video gráfica. Una vez finalizada ésta se propone un debate sobre lo visionado. El debate será guiado, dado el caso, gracias a las cuestiones planteadas por el docente, para poder apreciar todos los matices del fenómeno.

Las posibles cuestiones podrían ser:

*¿qué es el electrón realmente?*

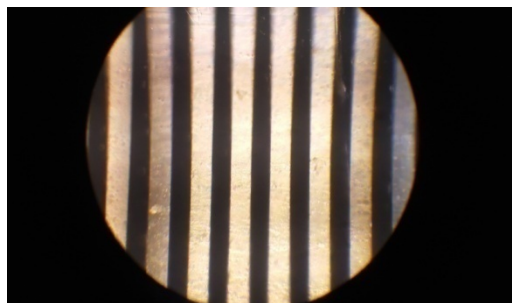
*¿qué es el electrón antes de ser observado?*

*¿y la luz? Si hemos visto que era una onda ¿es también una partícula en analogía al electrón?*

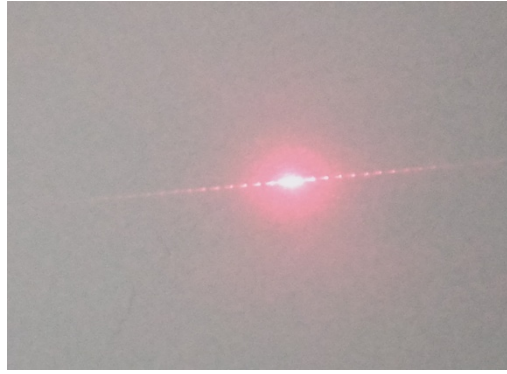
*¿qué tiene que ver la observación para que se muestre como partícula?*

*¿interviene el observador en el resultado del experimento?*

*si el observador interviene en el experimento ¿tiene el electrón entidad física definida antes de ser observado? , etc.*



*Decóder de impresora visto a través del microscopio*



*Patrón de interferencia*

***Evaluación:***

La evaluación se hará a través de las observaciones del docente y de la rúbrica prevista para la evaluación de las actitudes.

**Actividad sobre el experimento de la doble rendija**

***Objetivos:***

Se pretende con dicha actividad que el alumnado pueda afianzar los conceptos y conocimientos introducidos en la anterior actividad a través de una puesta en práctica individual en la resolución escrita de cuestiones planteadas en dicha actividad.

Que el alumnado pueda por si mismo captar la imposibilidad de la Física Clásica en la explicación de ciertos fenómenos, a través de un ejemplo numérico y de comparaciones entre los resultados predichos por la Física Clásica y los reales, que ejemplifica perfectamente la lógica cuántica totalmente alejada de la clásica.

Presentar la necesidad de utilizar una nueva lógica y una nueva ontología para la explicación de fenómenos cuánticos.

***Materiales:***

Hoja de actividades

***Procedimiento:***

Se le presenta al alumnado la hoja para su resolución trabajando en grupos de dos.

Dicha hoja se puede ver en el anexo.

***Evaluación:***

Se hará un proceso de auto- y coevaluación en la que el alumnado, una vez realizada la práctica y realizada una puesta en común sobre las respuestas en cuyo debate el docente expondrá las contestaciones correctas, éste se autoevaluará su ejercicio, calificando cada cuestión con una nota de 1 a 5 y extrayendo la nota final. A continuación intercambiarán sus ejercicios para realizar una coevaluación de éste, de forma que cada alumno/a evaluará y calificará el ejercicio del/de la compañero/a.

## **SESIÓN 2**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

El alumnado ha tomado contacto ya con las rarezas e incongruencias lógicas del comportamiento cuántico a escala microscópica. Ahora se plantea reforzar esta idea de comportamiento inexplicable desde el punto de vista del pensamiento clásico trasladando dicho fenómeno a escala macroscópica a través de una analogía, así como mostrar la necesidad de establecer límites de aplicabilidad en Física Cuántica

### **Analogía sobre experimento de la doble rendija**

***Objetivos:***

Repasar el fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo como fenómeno esencial en el comportamiento cuántico.

Captar las profundas diferencias entre el comportamiento cuántico y el clásico, diferenciando los puntos de conflicto a través de una analogía alejada de la Física Clásica en consonancia con la propuesta metodológica adoptada, es decir, plantear una situación ajena a fenómenos físicos pero que pueda reproducir el comportamiento y las conexiones entre conceptos de la Física Cuántica. Todo ello se consigue reproduciendo el comportamiento cuántico a escala macroscópica a través de una situación en la que personas deben plantear cuestiones que determinan el resultado obtenido.

Reforzar esta idea de comportamiento inexplicable desde el punto de vista del pensamiento clásico trasladando dicho fenómeno a escala macroscópica a través de una analogía.

Fomentar la necesidad de establecer un límite de aplicabilidad de la Física Cuántica,

como introducción del principio de correspondencia que se vería posteriormente y como pantalla a las aplicaciones esotéricas de ésta.

Presentar y comprender la teoría de la medida en mecánica cuántica, reflexionando sobre el papel del observador que establece dicha teoría.

Saber diferenciar claramente las teorías científicas de la pseudocientíficas, realizar un análisis crítico de éstas últimas y su influencia en la sociedad.

***Materiales:***

Hoja con el texto de la analogía (véase anexo)

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet

***Procedimiento:***

A los alumno/as se les entrega el texto para que lo lean y posteriormente respondan a las cuestiones planteadas. Una vez resueltas éstas se plantea un debate en la que los estudiantes puedan explicar sus conclusiones.

En el debate posterior se presentan diversas páginas web sobre aplicaciones esotéricas y manipulativas de la Física Cuántica, realizando un análisis crítico de las mismas. Con ello se busca que el alumnado pueda utilizar sus conocimientos aprendidos hasta el momento para identificar esa manipulación y los conceptos y principios cuánticos que se han tergiversados.

Por ejemplo:

<http://www.mantra.com.ar/contmanifestacionesenergeticas/queeslafisicacuantica.htm>  
/

<http://teoriabiocentricadelcosmos.blogspot.com.es/2012/06/fisica-cuantica-confirma-el-poder-de-la.html>

<http://experienciasparanormales.es.tl/fisica-cuantica-y-poder-mental.htm>

<http://accionesdebolsa.com/la-economia-cuantica-nuevos-postulados.html>

En todas estas páginas se observa una explicación pseudocientífica del comportamiento humano y de la propia realidad; para ello utiliza conceptos y fenómenos cuánticos, sobre todo la dualidad onda-corpúsculo, la teoría de la medida en Mecánica Cuántica y el entrelazamiento, extrapolando éstos a escala macroscópica sin respetar el principio de correspondencia y utilizándolos para justificar el poder de la mente sobre la realidad y la dependencia de ésta con aquella

***Evaluación:***

La evaluación se hará a través de las observaciones del docente y de la rúbrica prevista para la evaluación de las actitudes. Con ello se evalúan competencias clave.

El texto de dicha actividad se puede ver en el apéndice.

**SESIÓN 3**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente. Al alumnado se le plantea la cuestión de que si los electrones se comportan como partículas y ondas cómo podemos calcular una magnitud fundamental en el estudio de las ondas: la longitud de onda.

**Problema abierto sobre longitud de onda de De Broglie**

***Objetivos:***

Materializar en números y afianzar la idea de la dualidad onda-corpúsculo, como una ley general de la naturaleza siendo el caso clásico un caso particular de ésta y además reflexionar sobre los límites de aplicabilidad de la Física Cuántica, como introducción del principio de correspondencia que se verá posteriormente.

Valorar la influencia de las distintas variables en la hipótesis de De Broglie.

Practicar estimación de magnitudes.

Mostrar la dualidad cuántica en el propio alumnado como forma de acercamiento de los conceptos y fenómenos cuánticos a su experiencia personal, pero siempre siendo consciente de su límite de aplicabilidad como forma de análisis crítico de corrientes pseudocientíficas en Física Cuántica.

***Materiales:***

Hoja de papel, bolígrafo y calculadora

***Procedimiento:***

Una vez expuesta la fórmula de De Broglie, se enuncia el problema al alumnado para que lo resuelva. Una vez resuelto y comprobadas las soluciones, se realiza una

comparación entre éstas y se les plantea a los estudiantes que valoren sus diferencias y los límites prácticos de aplicabilidad de éste fenómeno cuántico.

El problema que se plantea es el siguiente:

*Calcula tu longitud de onda de Broglie en el caso de circular en un coche por una carretera nacional y en el caso de viajar en un avión comercial. Haz lo mismo para un electrón cuya energía cinética es 100 eV. ¿Qué diferencias ves entre los distintos casos?, ¿qué variables son fundamentales? ¿tiene sentido aplicar la hipótesis de De Broglie en todos los casos?, ¿porqué?*

*Evaluación:*

A través de un proceso de coevaluación en la que los aprendices compararán sus resultados e interpretaciones.

### **Búsqueda de aplicaciones carácter ondulatorio electrones**

*Objetivos:*

Mostrar la realidad de la dualidad onda-corpúsculo a través de sus aplicaciones a la tecnología actual.

Mostrar la utilidad y aplicabilidad de la Física Cuántica.

Favorecer una visión de la ciencia como algo útil y de progreso para el ser humano.

Mejorar las capacidades de búsqueda y selección de información en internet

*Materiales:*

Ordenadores con conexión a internet

*Procedimiento:*

Se distribuyen los alumnos y alumnas en dos por cada ordenador y se les plantea las siguientes cuestiones:

*Busca posibles aplicaciones tecnológicas del carácter ondulatorio de los electrones ¿en qué se basa el funcionamiento de dichos aparatos?, ¿para qué sirven?, ¿crees que ayudan al progreso de la humanidad?, ¿porqué?*



### **Evaluación:**

La evaluación se hará a través de las observaciones del docente y de la rúbrica prevista para la evaluación de las actitudes.

Proyección de vídeo sobre cuantización y debate

## **SESIÓN 4**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

El alumnado ya ha entrado en contacto con el concepto de dualidad partícula-onda y de que la luz también tiene ese comportamiento. Es el momento de profundizar en el fenómeno de la luz, su espectro y con ello introducir el fenómeno de la cuantización y el primer átomo cuántico.

### **Exposición sobre el espectro electromagnético**

Se realiza un repaso sobre la idea de lo que era la luz a lo largo de la historia. Se expone el espectro electromagnético y con ello también la zona visible y los colores. A continuación se les plantea al alumnado la cuestión *¿porqué los objetos tiene color?*. Una vez vista la respuesta previsible de la reflexión y absorción de la luz por parte de los objetos, se plantea la cuestión de *porque el sol y las estrellas tiene color si no reflejan luz*, para así poder llegar al fenómeno que se busca: los espectros atómicos

### **Exposición magistral sobre las distintas concepciones del átomo a lo largo de la historia**

*“Si vamos a tener que seguir aguantando esos malditos saltos cuánticos, lamento haber tenido algo que ver con la teoría cuántica”*

Erwin Schrödinger

Una vez visto el carácter ondulatorio de los electrones se les plantea a los aprendices cómo puede influir éste en el lugar dónde éstos normalmente están: el átomo. A partir de dicho planteamiento se exponen las ideas del átomo desde Demócrito hasta la actualidad de forma sucinta. Se estudia en más profundidad el átomo según Bohr para con ello introducir el concepto de cuantización a través del

fenómeno que produce cuantización en Física Clásica: las ondas estacionarias en un medio confinado. Con ello se repasa la hipótesis de De Broglie.

No se estudia el átomo cuántico pues el objetivo principal de la exposición es introducir el fenómeno de la cuantización y estudiarlo más a fondo para posteriormente poder ver el átomo cuántico una vez estudiado el principio de incertidumbre de Heisenberg.

## **Experimentos sobre espectros**

### *Objetivos:*

Con la siguiente actividad se pretende que el alumnado pueda ver de forma práctica los efectos de la cuantización de la materia-energía para así poder afianzar los conocimientos sobre dicho fenómeno, repasar la idea de átomo de los inicios de la mecánica cuántica, los espectros de emisión de los átomos, el carácter unívoco de dichos espectros y con ello “el color del átomo” como forma inequívoca de su identificación.

Demostrar la inoperancia de la Física Clásica para explicar dicho fenómeno, uno de los que provocaron la creación de la primera mecánica cuántica; con ello también hacer ver el carácter provisorio de las teorías científicas, la necesidad de las nuevas teorías para explicar nuevos fenómenos inexplicables hasta el momento y así el nacimiento de un nuevo paradigma en la física.

Fomentar las capacidades de expresión y argumentación, el debate crítico, respetuoso y asertivo, el respeto a las ideas ajenas y una visión de la ciencia temporal y no dogmática.

### *Materiales:*

Bola de plasma con mezcla de gases nobles xenón, kriptón y/o neón aportada por el docente



Lámpara fluorescente compacta averiada

Sal común

Alcohol

Mechero bunsen

Espectrómetro de prisma

Ordenador cada tres alumnos mínimo o pizarra digital con conexión a internet

#### *Procedimiento:*

El docente presentará la bola de plasma, dirá la mezcla de gases que contiene y propondrá a los estudiantes que la toquen para distinguir mejor el rayo que se forma. Como apoyo se utilizará asimismo una lámpara fluorescente compacta (bombilla de bajo consumo) averiada, indicándose el contenido: vapor de mercurio con revestimiento de fósforo en el cristal. El alumnado podrá inicialmente comprobar por sí mismos que la bombilla no funciona y posteriormente al acercarla a la bola ver como ésta se enciende.

Posteriormente se pretende utilizar el método del descubrimiento guiado para que los aprendices puedan dilucidar ellos mismos el funcionamiento de la bola y el efecto sobre la lámpara de forma autónoma, las razones últimas del fenómeno que se forma y su relación con los contenidos impartidos. Todo ello gracias a las cuestiones planteadas que buscarán el objetivo propuesto, como por ejemplo:

*¿porqué se forma el rayo?*

*¿de dónde sale la energía que lo forma?*

*¿porqué tiene ese color y no otro?*

*¿qué fenómeno, en última instancia, es el responsable de la formación del rayo?*

*¿qué principio de la Física Cuántica explica su formación?*

*¿podría la Física Clásica explicar completamente dicho fenómeno?*

*¿qué fenómeno natural es similar?*

*¿porqué se enciende la bombilla?*

*¿el fenómeno en la bombilla que diferencias y similitudes tiene con el de la bola?*

Una vez debatido su funcionamiento se presentará el espectrómetro para que pueda ver los espectros de la bola y de la lámpara. Se plantearán las siguientes cuestiones: ¿qué indica el espectro que se forma en ambos casos?, ¿cómo lo explicarías?

A continuación se realizará el siguiente experimento:

se colocará sobre una cucharilla algo de sal con alcohol y ésta se quemará en un mechero bunsen. Esta parte de la actividad se realizará en grupos de dos para que mientras un estudiante quema la sal el otro u otra pueda ver el espectro. Una vez realizado se plantea la siguiente pregunta:

*¿de qué sustancia crees que es el espectro que ves en el caso de la sal?*

Si el aula donde se realizan las actividades no dispone de conexión a internet (pizarra digital u ordenadores) se les pedirá a los alumnos que anoten las líneas principales que distinguen en cada espectro.

Completados los experimentos y planteadas las cuestiones se les propone a los aprendices que busque por internet espectros de las posibles sustancias contenidas en la bola y en la lámpara: helio, xenón, radón, mercurio y fósforo, así como el del sodio para que puedan compararlo con el que ven o han visto, identificando las líneas características de cada espectro.

Ya que se busca también con esta actividad fomentar el debate, la dialéctica y el análisis de fenómenos, no se plantea la realización de ningún ejercicio escrito.

#### *Evaluación:*

La evaluación se hará a través de las observaciones del docente y de la rúbrica prevista para la evaluación de las actitudes.

#### *Precauciones:*

Dado que con el tiempo alrededor de la bola se puede formar ozono y por las altas tensiones y frecuencias a las que funciona, se tendrá especial cuidado de tener un

ambiente suficientemente ventilado y mantener alejados de la sala aparatos digitales tales como ordenadores, teléfonos móviles, etc.

### **Proyección de vídeo sobre cuantización**

*Objetivos:*

Reforzamiento de la asimilación del fenómeno de la cuantización a través del comportamiento del átomo en su primera concepción cuántica.

*Materiales:*

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet

*Procedimiento:*

Se visita el siguiente enlace:

<http://toutequantique.fr/en/quantization/>

*Evaluación:*

La evaluación se hará a través de las observaciones del docente.

## **SESIÓN 5**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

### **Realización de problemas**

*Objetivos:*

Aplicación práctica sobre la cuantización de la energía. Fortalecer la idea del espectro atómico como forma inequívoca de su identificación.

Preparación para el examen de selectividad.

Fomentar competencias matemáticas y de resolución de problemas.

*Materiales:*

Hoja de problemas sobre transiciones electrónicas de distintos átomos

Calculadora científica

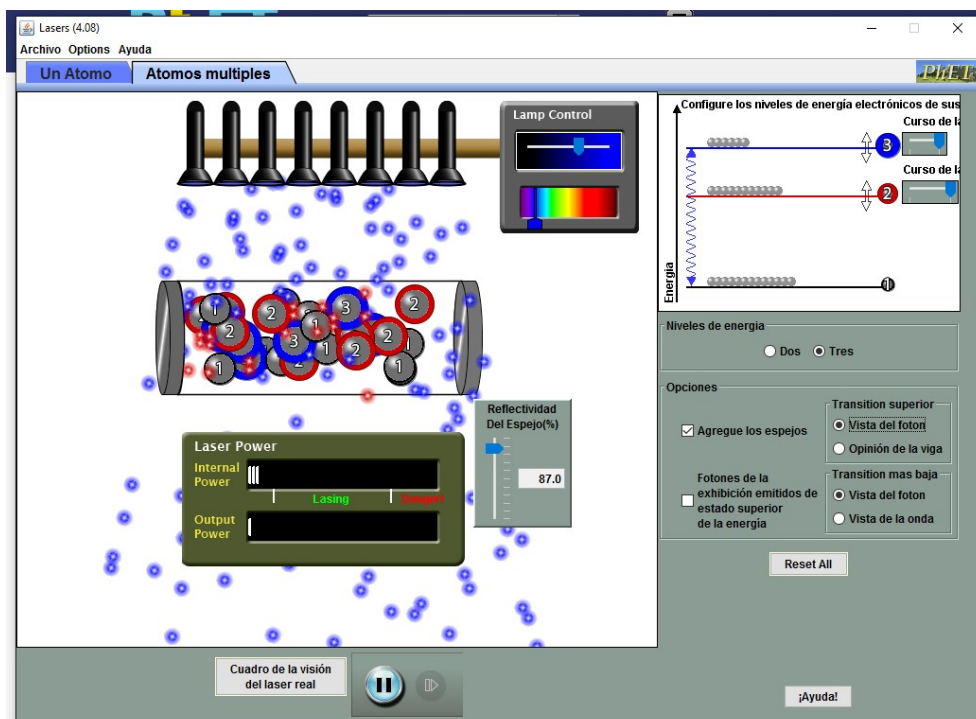
### Procedimiento:

Se les presenta al alumnado para su resolución individual. Una vez resueltos se les pide que identifiquen la longitud de onda y/o frecuencia de las radiaciones obtenidas con el espectro electromagnético, como forma de ver la identificación unívoca del átomo y su “color”.

### Evaluación:

Gracias a las observaciones del docente se evalúan competencias matemáticas

## Actividad con applet sobre el láser



### Objetivos:

Aprender y diferenciar los procesos de emisión espontánea y estimulada.  
Comprender el funcionamiento del láser.  
Conocer distintas aplicaciones del láser y su influencia en la vida cotidiana  
Fomentar competencias de búsqueda y selección de información en la red.  
Introducir algunas características del efecto fotoeléctrico.

### Materiales:

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet

Ordenadores con conexión a internet

*Procedimiento:*

En primer lugar se presenta el siguiente vídeo explicativo:

<http://toutestquantique.fr/en/laser/>

Se les pedirá al alumnado que intente traducir las explicaciones aportadas en el vídeo.

Se distribuyen los alumnos y alumnas en dos por cada ordenador y se les suministra a través del enlace indicado el applet para la práctica. Se les pide que resuelvan las cuestiones.

Enlace:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/lasers>

Cuestiones:

*¿Qué influencia tiene la frecuencia de la luz usada?.*

*¿Qué sucede si la configuración de los niveles de energía del átomo es mayor que la energía del fotón de luz?, ¿y si es menor?*

*¿Qué mide realmente el botón “Lamp Control”?*

*¿Qué debe suceder para que exista potencia de salida?*

*¿Enuncia las tres aplicaciones del láser que consideres que más han influido en nuestro estilo de vida?*

(Para la resolución de la última cuestión el alumnado podrá buscar a través de internet)

*Evaluación:*

Por las observaciones del docente.

## **SESIÓN 6**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

**Experimento con juguete con célula fotovoltaica y resolución de cuestiones**

**Objetivos:**

Presentar el efecto fotoeléctrico.

Mostrar la incapacidad de la Física Clásica en su explicación y la necesidad de encontrar una nueva teoría.

Relacionar el efecto fotoeléctrico con los fenómenos cuánticos vistos hasta el momento.

Aprender los principales parámetros que influyen en el efecto fotoeléctrico: material, frecuencia e intensidad de la luz usada.

Conocer los elementos básicos de una instalación fotovoltaica autónoma.

**Materiales:**

Juguete con placa solar, por ejemplo: un cochecito, un molino, etc.

**Procedimiento:**

Al alumnado se les presenta el juguete, se le coloca con distintas fuentes de luz, por ejemplo solar, de bombilla incandescente y fluorescente, de forma que con unas funcione y con otras no. Se debate sobre su funcionamiento y, dado el caso, el profesor explica su funcionamiento de forma simplificada para resaltar sólo el efecto fotoeléctrico que subyace en su funcionamiento. El docente, además, explicará de forma sucinta el funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica autónoma.

Seguidamente se les plantean las siguientes cuestiones que deberán resolver en grupos de dos:

*Según la teoría electromagnética clásica la luz es una onda electromagnética y como onda que es lleva distribuida su energía de forma continua en el espacio, sabiendo esto responde a las siguientes cuestiones:*

*¿Se produciría el efecto fotoeléctrico para cualquier frecuencia de la luz?*

*¿Sería instantáneo?*

*¿Cómo variaría la intensidad de la corriente eléctrica con la frecuencia y la intensidad de la luz?*

*¿Para una misma fuente de luz influye el material que se usa?*

**Evaluación:**

A través de las observaciones del profesor y por coevaluación por la puesta en

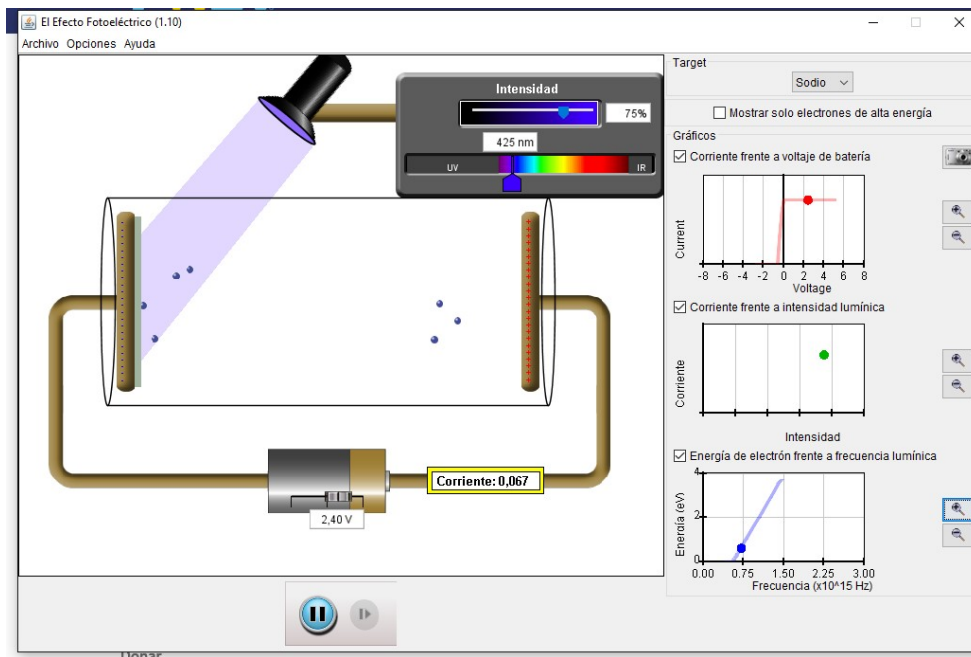


común de los resultados de las cuestiones.

## SESIÓN 7

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

### Actividad con applet sobre el efecto fotoeléctrico y cuestiones anexas



#### Objetivos:

Aprender en profundidad el efecto fotoeléctrico. Saber establecer la influencia de cada variable en su funcionamiento. Comprender el porqué del fracaso de la Física Clásica en su explicación.

Deducir la fórmula del efecto fotoeléctrico.

#### Materiales:

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet

Ordenadores con conexión a internet

#### Procedimiento:

Se reparten los alumnos en dos cada ordenador y se les suministra a los estudiantes el applet siguiente:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/photoelectric>

Trabajando de forma autónoma con el applet deberán resolver las preguntas siguientes:

- 1.- *Para un material dado, ¿qué es lo que hace que exista efecto fotoeléctrico o no?*
- 2.- *¿Qué influencia tiene la intensidad de la luz sobre la intensidad eléctrica?*
- 3.- *¿Qué relación existe entre la frecuencia de la luz y la energía de los electrones emitidos: directamente proporcional, inversamente proporcional o distinta de las anteriores?*
- 4.- *¿Por qué aunque se ponga un potencial de frenado, esto es la batería con los polos invertidos respecto al movimiento de los electrones, existe aún así una intensidad de corriente?*
- 5.- *Observa la gráfica energía electrón-frecuencia, ¿Qué representa el punto de corte de dicha curva con el eje x?, ¿y el de la gráfica corriente-voltaje batería?*
- 6.- *Observando la animación, ¿porqué aunque ponga una intensidad de luz muy alta los electrones se mueven con la misma velocidad?, ¿qué parámetro varía en ese caso y porqué?*
- 7.- *¿Qué debo hacer para que los electrones vayan más rápido?*
- 8.- *Deduce la fórmula del efecto fotoeléctrico sabiendo que la influencia del material se presenta por la variable “trabajo de extracción” ( $W$ ), que representa la energía mínima para extraer electrones del material.*
- 9.- *Analiza los resultados de la simulación y numera aquellos que contradicen la Física Clásica*

*Evaluación:*

A través de las observaciones del profesor.

## **SESIÓN 8**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

### **Hoja de problemas**

*Objetivos:*

Competencias matemáticas y de resolución de problemas.

Desarrollar el pensamiento analítico para resolver problemas y el sintético para ver

los parámetros fundamentales de un fenómeno.

Desarrollar capacidades de representación gráfica y de interrelación de variables

***Materiales:***

Hoja de problemas de exámenes de selectividad de años anteriores

***Procedimiento:***

Se entrega la hoja de problemas para su resolución y los corrigen los estudiantes en la pizarra

***Evaluación:***

Corrección conjunta de los problemas como método de coevaluación

## **SESIÓN 9**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente. La sesión servirá como repaso de lo visto hasta entonces.

### **Las aplicaciones de la Física Cuántica en un día de mi vida**

***Objetivos:***

Demostrar algunas de las aplicaciones CTS de la Física Cuántica. Hacer ver al alumnado la importancia del trabajo científico como ayuda para el progreso y bienestar de la humanidad

***Procedimiento:***

Se le presenta al alumnado la siguiente cuestión que deberá resolver individualmente.

*Imagínate un día normal de tu vida en el que te levantas, pones algo de música, coges el ascensor, vas al supermercado a comprar, después te das un pase y haces una foto con tu móvil, vas a una copistería y fotocopias e imprimes algunos documentos, mientras vas por la calle ves un topógrafo midiendo el terreno para unas obras que empezarán pronto, vuelves a tu casa, ves algo en la televisión y te*

acuestas.

*Indica que aplicaciones tecnológicas de la Física Cuántica estudiada hasta ahora has podido ver durante ese día e indica en cada una de ellas en que principio fundamental se basan. ¿Cómo sería un día de tu vida sin ninguna de esas aplicaciones?, ¿crees que sería mejor o peor?.*

Una vez resuelta la cuestión se hace una puesta en común de las contestaciones de cada alumno/a

*Evaluación:*

Se realiza un proceso de auto- y coevaluación a través de la puesta en común de los resultados a la cuestión planteada.

## **Problema**

*Objetivos:*

Repasar conceptos.

Afianzar la idea de luz como onda y partícula mostrando que la característica de partícula bien viene dada por su cantidad de movimiento y no por su masa. Conocer el efecto Compton y poder relacionarlo con el efecto fotoeléctrico. Consolidar la idea de dualidad onda-corpúsculo como principio fundamental de la Física Cuántica.

*Procedimiento:*

Se enuncia al alumnado el siguiente problema para su resolución por parejas:

*Sabiendo que según la relatividad especial la energía del fotón es  $E=pc$ , siendo  $c$  la velocidad de la luz, deducir la expresión de De Broglie para la luz en el vacío. Imagínate un electrón “en reposo y libre” y sobre él incide luz, teniendo en cuenta el teorema de conservación de la cantidad de movimiento y lo visto anteriormente ¿qué sucedería?, ¿dibuja un esquema indicativo?, ¿qué diferencias y similitudes ves entre este fenómeno y el efecto fotoeléctrico?, ¿qué relación tiene todo esto con la dualidad onda-corpúsculo?*

Una vez resuelto el docente insistirá en que el fotón no tiene masa y sin embargo se considera partícula por su cantidad de movimiento. Así el alumnado podrá reestructurar su idea de partícula vista hasta ahora como una masa que ocupa una posición en el espacio-tiempo y sustituirla por la más exacta de que es la que transporta cantidad de movimiento, resolviendo así la paradoja de partícula de masa cero.

Posteriormente el profesor explicará el efecto Compton como aplicación de dicha propiedad de la luz, así como sus semejanzas con el efecto fotoeléctrico.

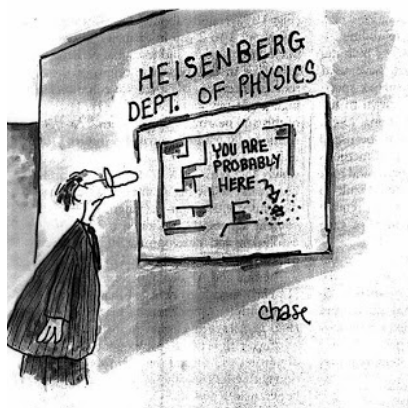
#### *Evaluación:*

A través de una puesta en común del resultado

### **SESIÓN 10**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

#### **Problema (tomado de Solbes & Sinarcas, 2010)**



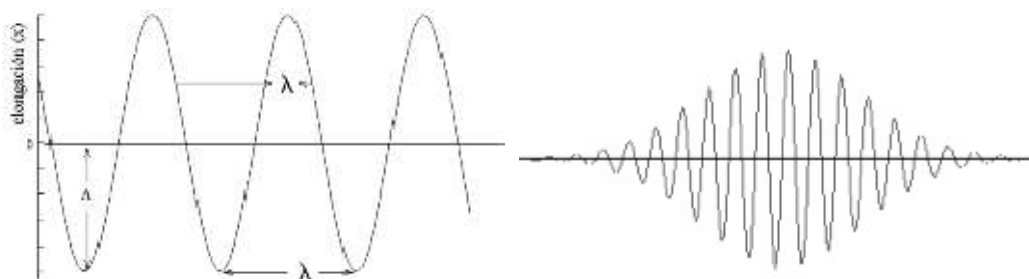
#### *Objetivos:*

Introducir el principio de incertidumbre viendo que éste es consecuencia de la dualidad onda-corpúsculo, es decir, que dicho principio se deduce de otras propiedades cuánticas más fundamentales

#### *Procedimiento:*

*Si el electrón viene descrito por una onda armónica plana (electrón libre) o por un paquete de ondas, determinar en ambos caso su  $\lambda$  (o  $p$ ) y su posición. En consecuencia, ¿es posible determinar simultáneamente la posición  $r$  y la cantidad de*

*movimiento p del electrón en cualquier instante, es decir, su movimiento a lo largo de una trayectoria?.*



Onda armónica plana y paquete de ondas  
(Imágenes tomadas de Solbes & Sinarcas, 2010)

### *Evaluación:*

A través del debate en común sobre la solución de lo planteado

## **Deducción de la relación de Heisenberg**

### *Objetivos:*

Deducir una relación muy aproximada a la de incertidumbre de Heisenberg. Captar la importancia e influencia de la constante de Planck en el comportamiento cuántico y el valor de su magnitud como límite de aplicabilidad de la Física Cuántica y su influencia en la Física Clásica.

### *Materiales:*

Hoja de lectura y actividades anexas

### *Procedimiento:*

Se presenta la hoja para la lectura y resolución de actividades en grupos de dos. El alumnado, después de leer un texto en dónde se explica y cuantifica la incertidumbre en la medida de la frecuencia de una vibración y del tiempo en que ésta se produce, debe completar una tabla a medio rellenar para deducir las relaciones de incertidumbre de Heisenberg cantidad de movimiento - posición y energía – tiempo, multiplicándolas para ello por la constante de Planck y usando las relaciones de Einstein y de De Broglie para el fotón para obtener una versión casi idéntica a las

relaciones de Heisenberg.

Es importante que el enseñante se ocupe y preocupe de que el alumnado pueda asimilar la constante de Planck, y su valor, como determinantes para el comportamiento cuántico y pantalla para extrapolaciones macroscópicas de éste. Con ese objetivo se han previsto algunas cuestiones posteriores.

### *Evaluación:*

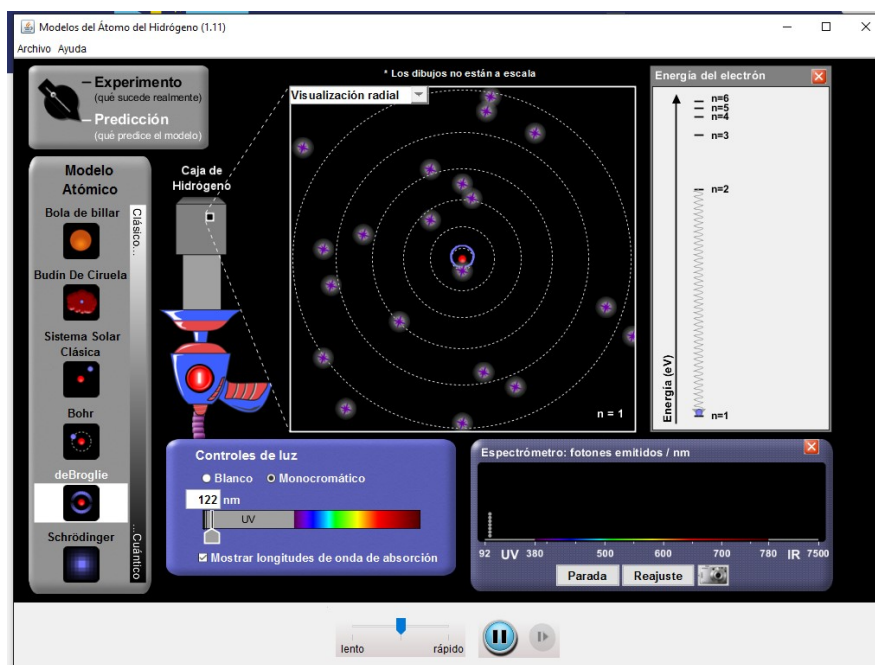
A través de un proceso de coevaluación gracias a la discusión planteada sobre las distintas contestaciones de los aprendices.

La lectura y actividades se encuentran en el anexo

## **SESIÓN 11**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

### **Actividad con applet sobre orbitales atómicos**



### *Objetivos:*

Repasar los modelos de átomo a lo largo de la historia ya vistos. Estudiar dichos

modelos más en profundidad gracias a la comparación de cada uno de ellos frente a los resultados experimentales. Saber determinar en qué aspectos aciertan y/o fallan cada modelo frente a los resultados experimentales.

Entrar en contacto con el concepto de orbital cuántico contemporáneo, remarcando el aspecto probabilístico e indeterminado, asumir éste como zona de probabilidad y no como lugar preexistente disponible para ser rellenado con electrones. Mostrar que en Física Cuántica el concepto de trayectoria carece de sentido.

***Materiales:***

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet.

Ordenadores con conexión a internet.

***Procedimiento:***

El trabajo se realizará por parejas.

Se les da al alumnado la dirección para trabajar con el applet.

Ésta es:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/hydrogen-atom>

Una vez los estudiantes se ha familiarizado con su funcionamiento, si es necesario con el apoyo del profesor, se les pide que conteste a las siguientes cuestiones:

*Pon el dispositivo de forma que emita luz monocromática en una de las longitudes de onda de absorción del átomo de hidrogeno. Ahora nos fijamos en el espectrómetro. Primero vemos lo que sucede realmente y después lo que predice cada uno de los modelos.*

- 1.- ¿Indica diferencia y semejanzas entre los distintos modelos?*
- 2.- ¿Qué modelo o modelos son más exactos?, ¿sólo es uno o son más?, ¿porqué?*
- 2.- ¿Por qué debe coincidir la longitud de onda de la luz emitida con la de las líneas de absorción para que se observen rayas en el espectrómetro?*
- 3.- ¿Explica mejor el modelo de Schrödinger el experimento que otros modelos?, ¿porqué?*
- 4.- ¿Porqué en el modelo de De Broglie no cae el electrón al núcleo?*
- 5.- ¿Porqué el átomo cuántico es tan grande comparado con los clásicos?*



6.- Compara ahora las líneas de espectrómetro obtenidas cuando la frecuencia de la luz incidente coincide con la línea de absorción de menor energía, y cuando coincide con líneas de mayor energía. ¿Por qué en el segundo caso se obtienen en el espectrómetro líneas de menor energía que no aparecen en el primer caso, si la luz incidente es de mayor energía?

*Evaluación:*

A través de un proceso de coevaluación gracias a la discusión planteada sobre las distintas contestaciones de los aprendices.

### **Visualización de un vídeo sobre el átomo y cuestión posterior**

*Objetivos:*

Repaso del átomo cuántico.

Reforzar la idea de orbital cuántico como zona de probabilidad. Relacionar la estructura electrónica con la tabla periódica de los elementos y mostrar así que su ordenación no es arbitraria.

*Materiales:*

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet.

*Procedimiento:*

Se proyecta el siguiente vídeo:

<http://toutestquantique.fr/en/atoms/>

Y se les plantean a los alumnos y alumnas la siguiente pregunta:

*¿Qué relación ves, según el vídeo, entre la configuración del átomo y su posición en la tabla periódica?*

*Evaluación:*

Con las observaciones del profesor.

### **Clase magistral sobre el espín**

*Objetivos:*

Asimilar el concepto de espín como fenómeno puramente cuántico sin correspondencia con la Física Clásica. Poder asimilar una nueva ontología para poder explicar dicha propiedad.

### *Procedimiento*

En la explicación del espín se evitará relacionarlo, como es habitual en los textos, con la rotación del electrón, sino más bien como una propiedad más de los objetos cuánticos que consiste en un momento angular intrínseco, como la masa o la carga, que influye en sus propiedades magnéticas. Ello supone una dificultad adicional al no poder el alumnado relacionarlo y construirlo a partir de sus conocimientos y experiencias previas; dicha dificultad se intenta superar al mostrar la propiedad del espín como propiedad inherente de los objetos cuánticos, al igual que la dualidad onda-corpúsculo ya introducida, sin relacionarlo con el momento angular en Física Clásica.

Este punto de vista es consecuente con la propuesta didáctica aquí presentada de creación y construcción por parte del alumnado de una nueva ontología y la explicación “clásica” resultaría ilógica y didácticamente contradictoria con la enseñanza impartida sobre la dualidad onda-corpúsculo: ¿cómo puede una entidad sin dimensiones y con comportamiento de onda y partícula rotar sobre sí misma?.

Por otra parte se insistirá en su influencia sobre el tamaño del átomo y como característica fundamental para poder explicar fenómenos hasta entonces inexplicables. Con todo ello se enuncia también el principio de exclusión de Pauli.

## **SESIÓN 12**

Dicha sesión comenzará, como todas, con un resumen de lo visto en la sesión anterior a través de las preguntas y explicaciones del docente.

### **Sesión magistral sobre la radiación de cuerpo negro**

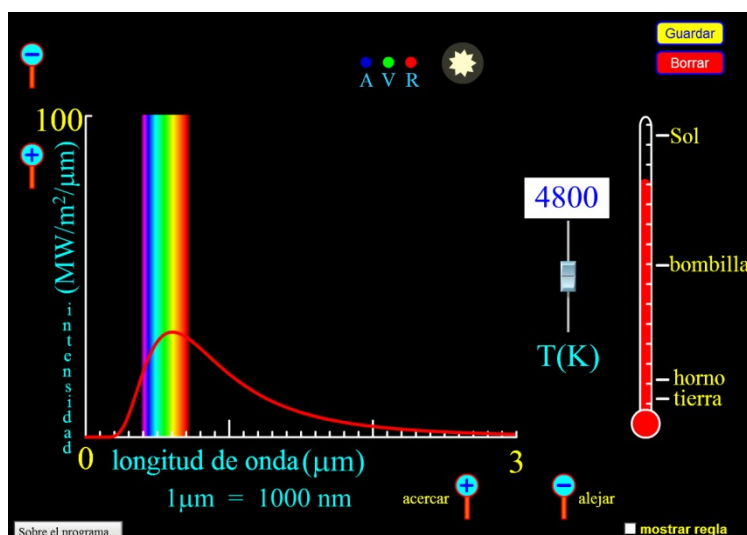
#### *Objetivos:*

Explicar el funcionamiento de un cuerpo negro. La catástrofe ultravioleta como punto de partida del nacimiento de la Física Cuántica. La hipótesis de Planck.

### *Procedimiento*

Se parte explicando el concepto de cuerpo negro y su fenomenología, a partir de ahí hacer una revisión histórica sobre la interpretación de los resultados empíricos para llegar a la hipótesis de Planck, sus consecuencias conceptuales para la Física de la época y la postura personal de Planck frente a esa revolución (la “h” de la constante de Planck viene de “Hilfe” en Alemán que significa ayuda). También las conexiones CTS de dicho concepto, a través de la temperatura de color. Esta sesión se podría considerar como estándar en el sentido de seguir el guión seguido por los libros de texto en el tratamiento del cuerpo negro. Posteriormente se utilizará una analogía del problema de la “catástrofe ultravioleta” con un pago en dinero a alguien incapaz de dar cambio para poder integrar a la cuantización de la energía como el factor determinante en la resolución del problema de la “catástrofe ultravioleta”.

### Actividad con applet sobre el espectro de cuerpo negro



#### Objetivos:

Afianzar conocimientos sobre la radiación de cuerpo negro. Ver relaciones cosmológicas y astronómicas de dicho concepto.

#### Materiales:

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet. Ordenadores con conexión a internet.

#### Procedimiento:

El trabajo se realizará por parejas. Se les da al alumnado la dirección para trabajar con el applet. Se puede encontrar en:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/blackbody-spectrum>

Mientras el alumnado trabaja de forma autónoma pero con las observaciones del profesor, éste les plantea las siguientes cuestiones para resolverlas por escrito:

1.- *¿Porqué en la escala de temperaturas aparece “sol”, “bombilla”, etc, que quiere decir?, ¿tiene esto relación con el color que vemos de esos objetos?*

2.- *¿Qué es la temperatura de color y qué relación tiene con el tema? (el alumnado podrá aquí consular en la red)*

2.- *Imagina un horno de cocer cerámica en el que se ha introducido cerámicas de varios colores, cuando ya está muy caliente lo abrimos y ¿cómo crees que se verían los objetos, de sus colores originales o todos del mismo color?, ¿porqué?*

*Evaluación:*

Coevaluación conjunta por los debates sobre las posibles soluciones.

## **Analogía sobre la radiación de cuerpo negro**

*Objetivos:*

Poder comprender las implicaciones de la cuantización sobre la radiación emitida por un cuerpo en equilibrio térmico, a través de un ejemplo a escala macroscópica pero no relacionado con la Física, asumiendo ésta como el factor determinante en la explicación del fenómeno y en la resolución del conflicto del que se podría considerar como germen del nacimiento de la Física Cuántica.

*Procedimiento:*

Se realizará por parejas una lectura y resolución de las cuestiones planteadas. En dicha analogía se ve que la incapacidad de dar cambio en la entrega de una cantidad fija de dinero por parte de infinitas personas lleva a obtener una cantidad finita de dinero, al igual que la cuantización de la energía (como analogía de la incapacidad de dar cambio) elude el que se obtenga una cantidad infinita de energía en la radiación de cuerpo negro.

*Materiales:*

Hoja con la analogía y cuestiones posteriores.

Dicha hoja se encuentra en el anexo.

*Evaluación:*

Gracias a la puesta en común de las distintas soluciones aportadas por el alumnado

### **SESIÓN 13**

Esta sesión tiene un carácter exclusivamente propedéutico, de preparación del alumnado para el examen de selectividad. Al comienzo de la sesión se hará un repaso de lo visto hasta entonces, desde un punto de vista eminentemente práctico y con el objetivo de resolver problemas eficientemente.

#### **Hoja de cuestiones y problemas**

*Objetivos:*

Aplicación práctica sobre los principios y fenómenos cuánticos vistos hasta entonces.

Preparación para el examen de selectividad, aprendiendo a resolver problemas de forma lo más efectiva posible, pero siempre de forma razonada.

Fomentar competencias matemáticas y de resolución de problemas.

*Materiales:*

Hoja de problemas y de cuestiones extraídas de exámenes de selectividad de años anteriores.

Calculadora científica.

*Procedimiento:*

Se les presenta al alumnado para su resolución individual. Los alumnos lo corrigen en la pizarra para una discusión general sobre el método y los resultados.

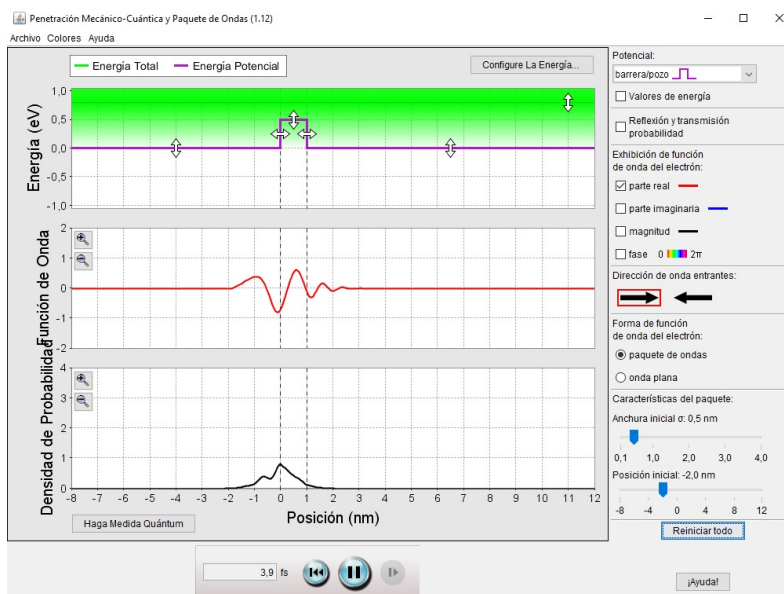
*Evaluación:*

Gracias a las observaciones del docente y con un proceso de co- y autoevaluación entre los aprendices.

## SESIÓN 14

En esta sesión se propondrá mostrar otros aspectos de la Física Cuántica no contenidos en el curriculum pero que se considera apropiado por su carácter motivador y estimulante para fomentar futuras vocaciones. Se propondrá ver un fenómeno fundamental en aplicaciones CTS de la Mecánica Cuántica, como es el efecto túnel y con él ver un principio fundamental en Mecánica Cuántica que enlaza con lo visto hasta el momento: el principio de superposición. Con él se pretende dar de contenido matemático, de forma sencilla y asimilable pero captando la esencia del comportamiento cuántico, así como transmitir al alumnado la idea de que en las fórmulas de la Física se concentra todas las características, matices y predicciones de los fenómenos estudiados por ésta, representando éstas una auténtica “destilación de la realidad” con la que nos liberamos de lo fútil y observamos lo fundamental.

### Actividad con applet sobre el efecto túnel y proyección de vídeo



#### Objetivos:

Comprender los fundamentos del efecto túnel cuántico y relacionarlo con la dualidad onda-corpúsculo y el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Introducir el concepto función de onda como la expresión físico-matemática que expresa todo lo cognoscible de un sistema.

#### Materiales:

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet.

Ordenadores con conexión a internet.

*Procedimiento:*

Se distribuyen a los alumnos uno en cada ordenador para trabajo individual. Se trabaja con el siguiente applet:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/quantum-tunneling>

El docente trabaja con el mismo applet en la pizarra digital o video proyector indicando los parámetros principales de la simulación y, sobre todo, mostrando la incongruencia, desde el punto de vista de la Física Clásica de este fenómeno, así como presentando la función de onda como representación matemática de toda lo que podemos saber de un sistema.

A continuación se proyecta el siguiente vídeo

<http://toutestquantique.fr/en/tunnel-effect/>

Para finalizar se propone al alumnado que busque en la red información sobre el microscopio efecto túnel y que responda a las siguientes cuestiones:

- 1.- *¿Dónde se produce el efecto túnel en el microscopio?*
- 2.- *¿Se puede ver el átomo con este microscopio?*
- 3.- *¿Qué aplicaciones tiene?*

*Evaluación:*

Por las observaciones del docente.

## Clase magistral sobre el principio de superposición



### Objetivos:

Comprender el principio de superposición como una característica única y fundamental de la Física Cuántica.

Relacionar dicho principio con el cálculo vectorial y con la teoría de la medida en Mecánica Cuántica.

Comprender el concepto de colapso de la función de onda y su relación con el concepto de medida en Mecánica Cuántica.

### Procedimiento:

Se explica el principio de superposición a través de una simplificación con el cálculo vectorial conocido por el alumnado y se aplica de forma cualitativa al fenómeno ya visto por el alumnado de la dualidad onda-corpúsculo.

## Experimento polarizadores

### Objetivos:

Afianzar la idea de superposición cuántica introducida en la clase magistral y que los alumnos y alumnas sepan aplicar el principio de superposición adecuadamente en este experimento.

### Materiales:

Tres láminas polarizadoras

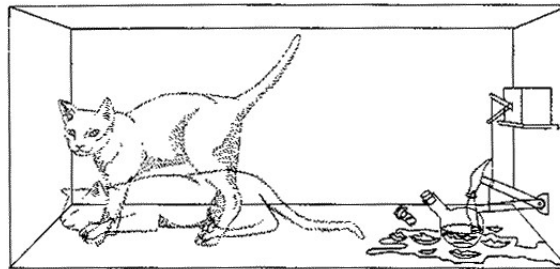
### Procedimiento:



Se les muestra el efecto de una lámina polarizadora sobre la luz polarizada y se les conmina a los aprendices a que explique dicho fenómeno. Si fuese necesario el docente explica al alumnado en qué consiste la luz polarizada. Posteriormente se sigue con dos láminas, para observar que si están conveniente dispuestas no se ve la luz aunque ésta no esté polarizada. A continuación, estando las dos láminas colocadas de forma que no se vea pasar la luz, se introduce una tercera lámina entre las dos anteriores pero girada  $45^\circ$  con respecto a las otras dos, para observar que en ese momento se vuelve a ver la luz. Se les pide a los estudiantes que explique el porqué de dicho fenómeno y qué relación tiene con lo visto hasta entonces. Se les pide también que reflexionen sobre alguna aplicación práctica de los polarizadores.

## SESIÓN 15

### Proyección vídeo sobre la paradoja del gato de Schrödinger



*"Pienso que se puede afirmar tranquilamente que nadie entiende la mecánica cuántica... No te pongas a repetir, si puedes evitarlo '¿pero cómo puede ser así?' porque te irás por una coladera hacia un callejón sin salida del que nadie ha escapado. Nadie sabe cómo puede ser así."*

Richard P. Feynman

#### Objetivos:

Presentar la paradoja y conectarla con los principios y fenómenos estudiados hasta el momento, en especial con el principio de superposición. Asimilación del principio de correspondencia como límite difuso pero fundamental de aplicabilidad de la Mecánica Cuántica, y saber usar éste en los debates pseudocientíficos sobre las supuestas aplicaciones de la Física Cuántica en el mundo macroscópico.

**Materiales:**

Pizarra digital o video proyector con conexión a internet

**Procedimiento:**

Se muestra en primer lugar el vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=z9ebtjvkFm8>

Posteriormente al vídeo se plantea un debate sobre sus consecuencias. El docente aprovechará este debate para explicar las distintas explicaciones planteadas sobre el papel del observador en la medición: la de la escuela de Copenhague, la de Eugene Paul Wigner, la de la decoherencia y la de los Universos Paralelos de Hugh Everett III, intentando mostrar una idea de la ciencia no dogmática pero sometida siempre al juicio de la naturaleza y la experimentación. Dicho abordaje se aprovechara para enmarcar y explicar las distintas corrientes epistemológicas sobre las que se asientan dichas interpretaciones: positivismo, realismo e idealismo conectándolas con el entorno socioeconómico en las que se gestaron

## **SESIÓN 16**

### **Prueba de evaluación**

**Objetivos:**

Evaluar los conocimientos adquiridos, el nuevo desarrollo ontológico que se busca, la capacidad del alumnado para elaborar una “intuición cuántica” (Greca & Herscovitz, 2002) y las competencias interpretativas de los fenómenos cuánticos y sus matices.

**Procedimiento:**

Se realiza una prueba de evaluación con preguntas abiertas a partir de imágenes, tiras de comic, anuncios reales y reflexiones de físicos que contribuyeron a crear el nuevo paradigma sobre los alcances, interpretaciones y epistemología de la Física Cuántica

### **Examen**

**Objetivos:**

Preparación para el examen de selectividad.

**Procedimiento:**

Se realiza un examen tipo de selectividad con cuestiones y problemas extraídos de exámenes de selectividad de años anteriores

**Evaluación:**

Se realiza una evaluación según los criterios normalmente establecidos en los exámenes de selectividad mediante un proceso de autoevaluación por parte del alumnado (en el apartado de Evaluación se especifican más las condiciones de ésta y la calificación)

#### **5.4. Propuesta de evaluación**

Para el desarrollo de la unidad la evaluación se plantea fundamentalmente a través de las observaciones del docente. Dado que muchas actividades propuestas consisten en puestas en común o actividades con applets, las observaciones y planteamiento de cuestiones durante la realización de las actividades serán la principal fuente de información para la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Además, al comienzo del desarrollo de la unidad se realiza un cuestionario para la indagación de ideas previas. También están planteadas actividades de problemas, y en ese caso también la evaluación será a través de observaciones y de coevaluación y autoevaluación.

Dentro de los criterios y estándares de evaluación contemplados en la LOMCE para el bloque “Física del Siglo XX” se seleccionan los siguientes que afectarán a la unidad:

**Criterios de evaluación**

- Analizar las fronteras de la física a finales del s. XIX y principios del s. XX y poner de
- Manifestar la incapacidad de la Física Clásica para explicar determinados procesos.

- Conocer la hipótesis de Planck y relacionar la energía de un fotón con su frecuencia o su longitud de onda.
- Valorar la hipótesis de Planck en el marco del efecto fotoeléctrico.
- Aplicar la cuantización de la energía al estudio de los espectros atómicos e inferir la necesidad del modelo atómico de Bohr.
- Presentar la dualidad onda-corpúsculo como una de las grandes paradojas de la Física Cuántica.
- Reconocer el carácter probabilístico de la mecánica cuántica en contraposición con el carácter determinista de la mecánica clásica.
- Describir las características fundamentales de la radiación láser, los principales tipos de láseres existentes, su funcionamiento básico y sus principales aplicaciones.

### ***Estándares de aprendizaje evaluables***

- Explica las limitaciones de la Física Clásica al enfrentarse a determinados hechos físicos, como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico o los espectros atómicos.
- Relaciona la longitud de onda o frecuencia de la radiación absorbida o emitida por un átomo con la energía de los niveles atómicos involucrados.
- Compara la predicción clásica del efecto fotoeléctrico con la explicación cuántica postulada por Einstein y realiza cálculos relacionados con el trabajo de extracción y la energía cinética de los fotoelectrones.
- Interpreta espectros sencillos, relacionándolos con la composición de la materia.
- Determina las longitudes de onda asociadas a partículas en movimiento a diferentes escalas, extrayendo conclusiones acerca de los efectos cuánticos a escalas macroscópicas.
- Formula de manera sencilla el principio de incertidumbre Heisenberg y lo aplica a casos concretos como los orbitales atómicos.
- Describe las principales características de la radiación láser comparándola con la radiación térmica.
- Asocia el láser con la naturaleza cuántica de la materia y de la luz, justificando su funcionamiento de manera sencilla y reconociendo su papel en la sociedad actual.

Al finalizar la Unidad se realiza una prueba de evaluación escrita con preguntas abiertas. Además se realizará una evaluación de las actitudes del alumnado durante todo el transcurso de la Unidad. Dicha rúbrica se rellenará cada semana y la puntuación total será la media aritmética de las dos semanas. La evaluación de dichas pruebas se hará por medio de rúbricas.

La Calificación final de la Unidad se calculará asignando un porcentaje del 90% a la prueba escrita sobre los contenidos y un 10% a la rúbrica sobre las actitudes.

El examen final con vistas a la preparación de la selectividad se evaluará por medio de técnicas de coevaluación y autoevaluación gracias a una puesta en común en la clase sobre sus soluciones, y a una auto calificación por parte de los estudiantes para que puedan valorar de forma autónoma sus competencias con vistas al examen de selectividad. Para lo último se les entregará los criterios de evaluación que normalmente se establecen en dichos exámenes. Dado el caso se contempla una repetición del examen con preguntas y cuestiones distintas al anterior.

Dichas pruebas y rúbricas pueden consultarse en el anexo.

## **5.5. Atención a la diversidad**

Para ello, a través de las observaciones del docente y del cuestionario inicial, se detectarán las necesidades de cada estudiante para conseguir, en la medida de lo posible, una enseñanza diferenciada y adaptada a las capacidades cognitivas y nivel de partida de cada aprendiz.

Para conseguir dichos objetivos se aplicarán los siguientes principios (Tomlinson, 2005):

- *Buscar las cualidades positivas del estudiante con dificultades.*
- *No dejar que lo que anda mal estropee lo que funciona bien.* En este sentido se intentará aplicar el principio de Premack.
- *Apuntar al aprendizaje significativo.*
- *Enseñar elevando el nivel.* Para fomentar la sensación de eficacia personal a través del propio reconocimiento de superación. En este sentido se aplicará la

idea de Zona de Desarrollo Próximo de Lev Vygotski.

- *Mirar con afecto*. Sólo a través de una enseñanza optimista, positiva y que favorezca la autoestima se consigue motivar a los estudiantes con dificultades.

En función de la composición del alumnado se aplicaran dichos principio, de esta forma se busca poder captar las singularidades de cada uno y una de ellos y ellas para establecer, en la medida de los posible, una formación adaptada a las necesidades de cada estudiante.

En cuanto a los recursos para conseguir una enseñanza en equidad e inclusiva:

- se fomentan actividades proactivas y dinámicas en la que los estudiantes se sientan ellos mismos investigadores como método de motivación para los menos interesados.
- se emplean recursos motivadores, como pequeños experimentos y el empleo de las nuevas tecnologías, y se conectaron los contenidos científicos con el contexto real, de forma que se pudiera conectar con los diferentes intereses y motivaciones del alumnado.
- se propicia en todo momento la participación de los alumnos, y se fomentará especialmente la de aquellos que normalmente no tienen esta iniciativa.

## 6. CONCLUSIONES

Con la presente propuesta se ha intentado plantear una innovación en la enseñanza de una materia tan conceptualmente ajena al nivel de razonamiento humano como la Física Cuántica, a través de un generación, partiendo de los fenómenos cuánticos considerados claves, en el alumnado de una nueva ontología que salve los conflictos paradigmáticos que éstos puedan establecer entre la Física Clásica y la Cuántica. Para conseguir esta estructuración ontológica se han dispuesto el mayor número de actividades proactivas posibles, sin olvidar el papel de acompañante en este proceso del docente.

Esta visión representa una postura parcialmente crítica al constructivismo en su énfasis de elaboración de conocimientos a partir de los preexistentes y de sus procesos de acomodación. Con la presente Unidad se intenta, sin embargo, que los

aprendices puedan crear una “intuición cuántica” y un nuevo sistema conceptual a partir de fenómenos cuyo estudio en profundidad lleve de forma natural a una nueva ontología inconexa con la precedente y sin usar símiles o analogías con los modelos clásicos. Con el modelo de cambio conceptual se busca la evolución de las concepciones alternativas hacia científicas que después en el estudio de la Física Cuántica constituyen un obstáculo. Se plantea por ello una reflexión sobre la necesidad de evitar la excesiva insistencia en el uso de modelos más antiguos frente a los cuánticos, a los que se les estudia a veces de forma casi axiomática. De ahí la importancia en el estudio de los fenómenos como forma de creación de conflictos cognitivos para despertar la necesidad de una nueva forma de pensar.

Para el referente adoptado aquí la formación del profesorado puede representar también un obstáculo si éste no le da la suficiente importancia en el curriculum a la parte de la Física, junto con la Relatividad General, más universal, exacta y con más futuro que actualmente existe. Además, el dominio de la materia por parte de los enseñantes es si cabe más fundamental aún que en el resto por la dificultad conceptual que entraña, y en ambos sentidos podría ser necesario fomentar su formación para cubrir estas necesidades.

Dado que se busca una estructuración conceptual activa por parte de los aprendices a partir de fenómenos y a que la reproducción de estos, por los materiales necesarios en Física Cuántica, es muy costosa, el diseño de actividades sufre de este hándicap añadido que sólo puede ser suplido con la imaginación y/o con la búsqueda del material pedagógico necesario fuera del ámbito del centro, por ejemplo en Universidades o empresas. Ello requiere de un tiempo extra y una dedicación especial pero que merecería la pena por las considerables ventajas que ello supondría para la reproducción y comprensión del comportamiento cuántico.

Por último mostrar la necesidad de ampliar en el curriculum el tiempo dedicado a la Unidad por lo que representa para la sociedad y su bienestar el despertar de futuras vocaciones en la considerada por muchos la próxima revolución tecnológica.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brown, D. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: Factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 17-34.

Cárdenas, M., & Ragout de Lozano, S. (1996). Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 343-349.

Castrillón, J., Freire Jr, O., & Rodríguez, B. (2014). Fundamental quantum mechanics, a didactic proposal. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1-12.

de Barrios, N. G., Judith Arias-rueda, M., & Flores, M. (2014). Tendencias educativas en el marco del aprendizaje y enseñanza de conceptos fundamentales de Física Cuántica. *Omnia*, 20(3), 34-64.

de los Ángeles Fanaro, M., & Otero, M. R. (2011). Enseñanza de la mecánica cuántica en la escuela media: análisis de los aspectos afectivos de los estudiantes. *Revista de investigación*, 35(73), 5-34.

Fernández, P. E., González, E. M., & Matarredona, J. S. (2011). De los corpúsculos de luz al efecto fotoeléctrico. Una propuesta didáctica con base en la discusión de modelos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(1), 69-80.

Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1963). *Feynman lectures on physics. vol. 1: Mainly mechanics, radiation and heat*. Addison-Wesley.

Greca, I. M., & Herscovitz, V. E. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(2), 327-338.

Greca, I., & Moreira, M. A. (2004). Obstáculos representacionales mentales en el



aprendizaje de conceptos cuánticos. *Moreira, M. A. (2003) Sobre el cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*, 26-40.

Greene, B. (2002). *El universo elegante*. Planeta.

Halbwachs, F. (1977). *Historia de la explicación en física. La explicación en las ciencias*. Barcelona: Martínez Roca.

Jorba, J., & Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Ministerio de Educación.

Kalkanis, G., Hadzidaki, P., & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87(2), 257-280.

Lapiedra, R. (2008). *Las carencias de la realidad*. Barcelona: Tusquets.

Moreira, M. A., Hilger, T. R., & Präss, A. R. (2011). Representaciones sociales de la física y de la mecánica cuántica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 22(1), 15-30.

Otero, M. R., Fanaro, M. D. L. Á., & Arlego, M. (2009). Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 4(1), 58-74.

Rosenblum, B., & Kuttner, F. (2010). *El enigma cuántico: encuentros entre la física y la conciencia*. Tusquets.

Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. *Didáctica de las ciencias experimentales*, 239-276.

Selçuk, G. S., & Çalýskan, S. (2009). Student understanding of some quantum physical concepts. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(2), 2.

Shayer, M., Adey, P., & Cameno, A. (1984). La ciencia de enseñar ciencias: desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo. Narcea.

Sinarcas, V., & Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(3), 9-25.

Solbes, J. (1996). La física moderna y su enseñanza. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 3(10), 59-67.

Solbes Matarredona, J., Bernabeu, J., Navarro Faus, J., & Vento Torres, V. (1988). Dificultades en la enseñanza/aprendizaje de la Física Cuántica. *Revista Española de Física*, 1988, vol. 2, num. 1, p. 22-27.

Solbes Matarredona, J., & Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza-aprendizaje de la Física Cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2010, vol. 20, num. 1 y 2, p. 65-91.

Solbes, J., & Sinarcas, V. (2013). Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la Física Cuántica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*.

Tomlinson, C. A. (2005). *Estrategias para trabajar con la diversidad en el aula*. Paidós.

Treitz, N. (2011). Curiosidades de la física-De una nota desafinada al principio de incertidumbre. *Investigación y Ciencia*, (414), 89.

Treitz, N. (2011). Del principio de incertidumbre al color del tomate. *Investigación y Ciencia: Edición Española de Scientific American*, (417), 89-91.

## **8. ANEXOS**

## Anexo 1

### ACTIVIDAD SOBRE EL EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA

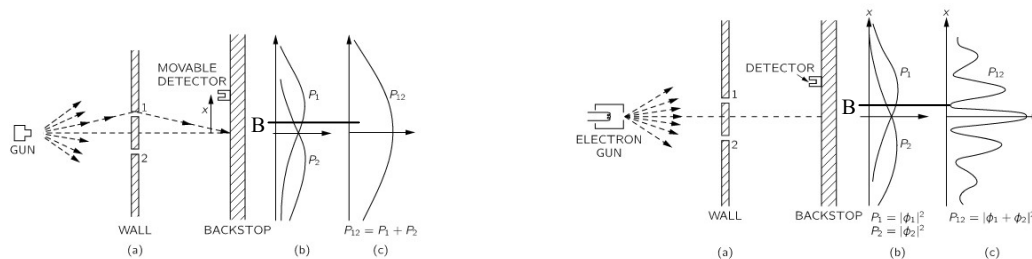
Realizamos el experimento de la doble rendija, para ello utilizaremos electrones.

Primero hacemos el siguiente experimento:

El experimento consta de dos partes, primero cierro una rendija y envío un número determinado de electrones obteniéndose la curva P1 de la figura 1-b, que representa la probabilidad de encontrar al electrón en cualquier punto de la pantalla. Posteriormente cierro esa rendija y abro la otra enviando el mismo número de electrones que anteriormente y obtengo la curva P2 de la figura 1-b,. Evidentemente las dos curvas son iguales pues he disparado los electrones desde el centro de las dos rendijas y su suma es la curva P12 de la figura 0.

Ahora realizamos otro experimento:

Envío el *mismo número de electrones totales* que en el anterior experimento pero con las dos rendijas abiertas y obtengo la curva P12 de la figura 1-c.



### Ejercicios:

1.- Observando las curvas de cada experimento rellena, por favor, los datos que faltan en las siguientes tablas.

EXPERIMENTO 1				
		Número de electrones que inciden en el centro de la pantalla	Número de electrones que inciden en un punto cualquiera A (menos el centro)	Número de electrones que inciden en el punto B de la pantalla
Resultado real	rendija A abierta, rendija B cerrada	1000	750	600
	rendija B abierta, rendija A cerrada	1000	325	100
TOTAL		2000	1075	700
Resultado según la Física Clásica	rendija A abierta, rendija B cerrada	1000	750	600
	rendija B abierta, rendija A cerrada	1000	325	100
TOTAL		2000	1075	700

EXPERIMENTO 2			
	Número de electrones que inciden en el centro de la pantalla	Número de electrones que inciden en un punto cualquiera A (menos el centro)	Número de electrones que inciden en el punto B de la pantalla
Resultado real	3000	650	45
Resultado según la Física Clásica	2000	1075	700
DIFERENCIA REAL-CLÁSICA	1000	-425	-655

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla, responde, por favor, a las siguientes preguntas:

- 1.- *¿En cuanto a los resultados qué diferencias ves entre ambos experimentos?*
- 2.- *¿En qué experimento falla la Física Clásica?, ¿porqué?*
- 3.- *¿En qué experimento no falla la Física Clásica y porqué?*
- 4.- *¿Porqué el máximo de las curvas P12 en cada experimento no es igual si he enviado el mismo número de electrones?, ¿dónde están los electrones que faltan?*
- 5.- *Comparando el punto B en ambas curvas, ¿porqué en el experimento 2 llegan menos electrones a ese punto que en el experimento 1?, ¿adónde han ido los que sobran?*
- 6.- *¿Cómo se pueden conciliar las diferencias de resultados obtenidos en las cuestiones 6 y 7?*
- 7.- *¿Cómo definirías el electrón?*
- 8.- *¿Qué puedo hacer para que realizando el experimento 2 obtenga los resultados del experimento 1?, ¿qué ha cambiado?*
- 9.- *¿Qué papel juega en todo el proceso el aparato de observación?*

## Anexo 2

### ANALOGÍA SOBRE LA DUALIDAD ONDA-CORPÚSCULO EN FÍSICA CUÁNTICA

Lee la siguiente historia:

*Permítaseme explicar porqué me estoy pateando esta empinada senda. Puesto que la mecánica cuántica puede hacer que la Naturaleza adopte tintes casi místicos, algunos se vuelven susceptibles a ideas del todo injustificadas, lo que les puede llevar a aceptar majaderías de índole sobrenatural.*

*Hace un mes me encontraba con unos amigos en California. Allí la gente parece particularmente susceptible a tales sandeces. Mis amigos me hablaron del Rhob en Eug Ahne Poc, una aldea situada en lo alto de las montañas Hima-Ural. Afirmaban que este chamán podía poner de manifiesto fenómenos cuánticos con objetos grandes. ¡Una ridiculez, por supuesto!*

*Cuando les expliqué a mis amigos que semejante demostración es imposible, me acusaron de tener una mente cerrada. Me retaron a investigar el asunto, y uno de ellos, un magnate de las empresas “puntocom”, se ofreció a financiar mi viaje. Aunque mis colegas del departamento de física me aconsejaron no perder el tiempo inútilmente, creo que un científico filántropo debería dedicar algún esfuerzo a investigar ideas injustificadas para frenar su propagación. Así que aquí estoy.*

*Observé con una mente completamente abierta. Cuando vuelva a California pondré en evidencia a ese charlatán; pero mientras permanezca en Eug Ahne Poc, seré discreto. Esos trucos chamánicos probablemente forman parte de la religión local.*

*La senda se va haciendo menos empinada y más ancha hasta que de pronto desemboca en una espaciosa plaza. Nuestro visitante ha llegado a Eug Ahne Poc. Le alivia comprobar que los preparativos a larga distancia de sus amigos han funcionado. Le estaban esperando. El Rhob y unos cuantos aldeanos le brindan un cálido recibimiento.*

- Saludos, Curioso Inquisidor, Concienzudo Experimentador. Bienvenido a nuestra aldea.
- Gracias, muchas gracias. Agradezco vuestra calurosa acogida.

- Nos alegra tu visita. Tengo entendido que vienes con la misión de desentrañar la verdad. Puesto que eres norteamericano, estoy seguro de que quieres ir deprisa. Intentaremos acomodarnos a tu ritmo, pero, por favor, sé comprensivo con nuestro calmoso proceder.
- Oh, aprecio mucho vuestra disposición. Espero no causaros muchas molestias.
- En absoluto. Tengo entendido que vosotros los físicos habéis aprendido hace poco, en el siglo pasado de hecho, a poner de manifiesto algunas de las verdades más profundas de nuestro universo. Pero vuestra tecnología sólo os permite trabajar con objetos pequeños y simples. Nuestra “tecnología”, si puede llamarse así, puede ofrecer demostraciones con las entidades más complejas.
- (expectante pero suspicaz): estoy ansioso por verlo.
- Lo he dispuesto todo. Tendrás que hacer una pregunta apropiada, y la respuesta se te revelará. Creo que el procedimiento de plantear una pregunta y obtener una respuesta se parece mucho a lo que los científicos llamáis “hacer un experimento”. ¿Quieres probar?
- (Un tanto desconcertado): Bueno, sí.....
- Muy bien, voy a presentar una situación para hacer el experimento.

*El Rhob se encamina hacia dos pequeñas chozas con una separación de unos treinta metros. Junto a la puerta de cada choza hay un aprendiz del Rhob, y en el espacio entre ambas hay dos jóvenes cogidos de la mano.*

- La “preparación del estado”, como dirías tú, debe hacerse sin observación. Haz el favor de ponerte esta capucha.



*Nuestro visitante se cubre la cabeza con una capucha negra que no le permite ver nada. Al poco rato, el Rhob continúa.*

- El estado está preparado. Ya puedes quitarte la capucha. En una de las chozas hay una pareja, un hombre y una mujer juntos. La otra choza está vacía. Tu primer “experimento” es determinar en qué choza está la pareja y cuál de las dos está vacía. Hazlo mediante una pregunta apropiada.

- Vale, ¿en qué choza está la pareja, y cuál está vacía?

- ¡Bien hecho!

*A una señal del Rhob, el aprendiz abre la puerta de la choza situada a la derecha para revelar a los dos jóvenes abrazados y sonriendo tímidamente. Luego el otro aprendiz abre la puerta de la otra choza para mostrar que está vacía.*

- Como puedes comprobar, amigo mío, has recibido una respuesta apropiada a tu pregunta. La pareja estaba ciertamente en una de las chozas, y la otra estaba vacía.

- (nada impresionado, pero intentando no ser descortés): Ya veo.

- Pero comprendo que la reproducibilidad es crucial para los científicos, así que repitamos el experimento.

El experimento se repite seis veces más para nuestro visitante: unas veces la pareja resulta estar en la choza de la derecha y otras veces en la de la izquierda. Notando que nuestro visitante comienza a aburrirse, el Rhob detiene la demostración y explica:

- (con tono jubiloso): ¡Atiende, amigo mío! Tus preguntas sobre el paradero de la pareja causaron que ambos jóvenes estuvieran juntos, y que la pareja se localizará en una única choza. Si tienes dudas de lo que digo, podemos repetirlo muchas más veces.
- (molesto por haber viajado tan lejos para asistir a una demostración

aparentemente trivial, y conteniéndose para no ofender):.¿Mis *preguntas* causaron que la pareja estuviera en una de las chozas? ¡Sí, hombre! Fuiste tú quién la situó en una u otra choza cada vez que yo me tapaba los ojos. Oh, pero lo siento, esto es un detalle irrelevante. Muchas gracias por tu demostración. De verdad que agradezco tu empeño, pero se está haciendo tarde, y tengo que bajar de esta montaña.

- No, soy yo quien debe disculparse. No he tenido en cuenta que los norteamericanos no podéis mantener la atención mucho tiempo. He oído que, de hecho, escogéis a los líderes de vuestra nación sobre la base de unas cuantas apariciones de treinta segundos en una pequeña pantalla de vidrio.
- Por favor, hagamos un segundo experimento. Ahora tienes que hacer una pregunta *diferente*, una pregunta que haga que el hombre y la mujer estén en chozas *separadas*.
- Vale, de acuerdo, pero tengo que bajar...

*Antes de que nuestro visitante acabe de hablar, el Rhob le tiende la capucha y él, encogiéndose de hombros, se la pone. Al cabo de un minuto, el Rhob vuelve a hablar.*

- Ya puedes quitarte la capucha. Haz una pregunta para determinar en cuál de las dos chozas está el hombre y en cuál la mujer.
- Vale, vale, ¿en qué choza está el hombre y en qué choza está la mujer?

*Esta vez el Rhob indica a sus aprendices que abra las puertas de las dos chozas al mismo tiempo. El hombre aparece en la choza de la derecha y la mujer en la choza de la izquierda, y ambos se dedican una sonrisa a través de la plaza.*

- (Visiblemente aturdido): Ohhhhh.
- ¡Atención! Has recibido una respuesta adecuada a la nueva pregunta que

hiciste, un resultado conforma al experimento que hiciste. En efecto, el hombre estaba en una choza y la mujer la otra. Tu pregunta causó que la pareja se distribuyera entre las chozas. Ahora cumplamos la condición de reproducibilidad repitiendo el experimento.

- Por favor, tengo que irme despidiendo ya. ¿Podemos ahorrarnos ese trámite? (Ahora con un tono sarcástico.) Concedo que tus “experimentos” pueden repetirse un número arbitrariamente grande de veces con resultado igualmente impresionantes.

➤ Oh, lo siento.

- (Un tanto perturbado por su propia descortesía): Oh no, discúlpame tú. Me encantaría ver una repetición del experimento.

➤ Bueno, ¿qué tal dos o tres veces más?

*(Y la demostración se repite tres veces)*

➤ Pareces impaciente, así que tres repeticiones quizá te basten para convencerte de que tus preguntas sobre las localizaciones del hombre y de la mujer causaron que la pareja se repartiera entre ambas chozas. ¿Estás de acuerdo?

- (Aburrido y decepcionado, pero con cierta sensación de triunfo): Desde luego, estoy de acuerdo en que *tú* puedes distribuir la pareja entre las chozas como te dé la gana. Pero ahora ya sí que tengo que bajar de esta montaña. Pensaba que me ibas a demostrar algo más. De todas maneras, muchísimas gracias por...

➤ (Interrumpiendo): Aún no has visto la versión final de estos experimentos, y es el paso crucial que completa nuestra demostración. Permíteme probártelo, sólo dos veces. Dos veces y nada más.

- (Condescendiente): Muy bien, de acuerdo, dos veces.

*Nuestro visitante vuelve a ponerse la capucha.*

- Por favor, ahora quítate la capucha y formula tu pregunta.
- ¿Qué debo preguntar?
- Ah, amigo mío, ahora tienes experiencia con ambas preguntas. Puedes formular *cualquiera* de las dos preguntas. Puedes optar por *cualquiera* de los dos experimentos.
- (Sin pensárselo mucho): Bueno, ¿en qué choza está la pareja?

*El Rhob abre la puerta de la choza de la derecha para revelar un hombre y una mujer cogidos de la mano. Luego abre la puerta de la otra choza para mostrar que está vacía.*

- (Un tanto intrigado, pero no sorprendido): Hummmmm....
- Fíjate en la pregunta que hiciste, el experimento que *elegiste*, causó la presencia de la pareja en una única choza. Ahora hagamos un segundo intento, tal como convinimos.
- (Bien dispuesto): Desde luego, probemos de nuevo.

*Nuestro visitante vuelve a ponerse la capucha.*

- Ya puedes quitarte la capucha y formular cualquiera de las dos preguntas.
- (Con un toque de escepticismo): Muy bien, esta vez haré la *otra* pregunta: ¿en qué choza está el hombre, y en qué choza está la mujer?

*El Rhob indica a sus aprendices que abran ambas chozas a la vez para revelar que el hombre está en la choza de la derecha y la mujer en la de la izquierda.*

- Hummmm...(un pensamiento en voz alta): Curioso, otra vez has sido capaz de responder a mi pregunta. Dos veces seguidas, Y sin saber qué iba a preguntar yo.
- Fíjate, amigo mío, en que cualquier pregunta que elijas siempre obtiene la respuesta correspondiente. Y ahora debes estar deseando dejarnos
- Bueno, el caso es que no me importaría intentar este último experimento una vez más.
- Desde luego, me encanta que estés tan interesado en esta demostración.

*Nuestro visitante vuelve a ponerse la capucha.*

- Ya puedes quitarte la capuchas y formular tu pregunta.
- Muy bien, esta vez preguntaré en qué choza está la pareja.

*El Rhob abre la choza de la izquierda para revelar a los dos jóvenes juntos, y luego abre la choza de la derecha para mostrar que está vacía.*

- Vaya, me has dado la respuesta apropiada a la pregunta que hice tres veces seguidas.- ¡Tienes mucha suerte!
- No es cuestión de suerte, amigo mío. La observación que eliges libremente determina si la pareja estará en una misma choza o separada en dos.
- (Perplejo): ¿Cómo puede ser? (Ahora ansioso) ¿Podemos probar de nuevo?
- Desde luego, si así lo quieres.

*La demostración se repite, y nuestro cada vez más desconcertado visitante de manda nuevas repeticiones. Hasta ocho veces obtiene un resultado correspondiente a la pregunta formulada y no a la pregunta que podía haber hecho.*

- (Agitado): ¡No puedo creerlo! Por favor, querría probar otra vez.
- Me temo que ya está oscureciendo, y hay una peligrosa pendiente montaña abajo. Puedes estar seguro de que siempre obtendrás una respuesta correspondiente a la pregunta que formules, apropiada a la situación cuya existencia fue causada por tu pregunta
  
- (Farfulla y parece irritado)
- Me parece que algo te corroe, amigo mío.
  
- Cómo sabías qué pregunta iba a hacerte antes de colocar a tu gente en las chozas?
- No lo sabía. Podías haber preguntado una cosa o la otra.
  
- (Agitado): Pero, pero...¡seamos razonables! ¿Y si hubiera formulado la pregunta que no se correspondía con la situación real del hombre y la mujer?
- Amigo mío, ¿acaso vuestro gran físico danés, Bohr de Copenhague, no os enseñó que la ciencia no tiene porqué dar respuesta a experimentos que no se han realizado?
  
- Sí, claro, pero no me vengas con esas: tu gente tenía que estar junta o separada justo antes de que yo hiciera mi pregunta.
- Ya veo lo que te preocupa. A pesar de tu información como físico y tu experiencia con la mecánica cuántica en el laboratorio, aún estás imbuido con la existencia de una realidad física independiente de tu observación consciente de la misma. Parece que a los físicos les cuesta comprender del todo la gran verdad que han cosechado en tiempos recientes.
- Pero ya es hora de darnos las buenas noches, amigo mío. Has visto lo que viniste a ver. Ahora debes dejarnos. Que tengas un viaje de vuelta sin contratiempos.

- (Obviamente desconcertado mientras toma el camino de vuelta): Ah, sí, estoooo...voy a....muchas gracias, sí, yo, bueno, gracias...
- (Hablando para sí mientras desciende por la empinada y pedregosa senda):  
Veamos, tiene que haber una explicación razonable. Si yo preguntaba dónde estaba la pareja, él me mostraba la pareja en una de las dos chozas. Pero si yo preguntaba dónde estaban el hombre y la mujer por separado, entonces me mostraba uno en cada choza. Pero antes de que yo me preguntara tenía que estar en una u otra situación. ¿Cómo lo habrá hecho?  
¿Acaso me engatusó para hacerme formular la pregunta que le convenía, como en uno de esos trucos de cartas de movimiento forzado? No, sé que elegí libremente todas las veces.  
¡No puede ser! Pero lo he visto. Ciertamente se parece a un experimento cuántico. Hay quienes afirman que la decisión consciente de qué observar crea la realidad, pero la consciencia no es algo que deba intervenir en la física. En cualquier caso, la mecánica cuántica no se aplica a objetos grandes como personas. Bueno, por supuesto, esto no es del todo cierto. En principio, la mecánica cuántica se aplica a todo. Pero es imposible demostrarlo con cosas grandes ( y sin un experimento de interferencia). ¿Estaba alucinando?  
¿Cómo desmiento al tal Rhob cuando vuelva a California? Peor aún, ¿qué les diré a mis colegas del departamento de física cuando me pregunten por mi viaje? ¡Ay madre!

Texto tomado de:

*Rosenblum, B., & Kuttner, F. (2010). El enigma cuántico: encuentros entre la física y la conciencia. Tusquets.*

RELLENA LA SIGUIENTE TABLA RELACIONAL

VIDEO				HISTORIA		
MUNDO	EXPERIMENTO	RESULTADO	COMPORTAMIENTO (ONDA O PARTÍCULA)	MUNDO	EXPERIMENTO	RESULTADO
	Experimento con ondas			Mundo clásico	El visitante <i>tiene que</i> preguntar: “¿en qué choza está la pareja?”	
Mundo clásico		Patrón de dos franjas				El hombre está en una choza y la mujer en la otra choza
Mundo cuántico		Patrón de interferencias				La pareja está en la choza derecha o en la choza izquierda
	Experimento con aparato observador (con forma de ojo)			Mundo cuántico	El visitante <i>elige libremente</i> la pregunta: “¿en qué choza está el hombre y en qué choza está la mujer?”	



RESPONDE, POR FAVOR, A LAS SIGUIENTES PREGUNTAS

*1- Rehaz la historia suponiendo que toda tiene lugar en el “mundo clásico” y no en el “mundo cuántico”. ¿Qué diferencias y similitudes hay?*

*2- En la última parte de la historia el Rhob le ofrece al visitante la posibilidad de elegir libremente la pregunta.*

*¿Cuál sería la probabilidad de acertar del visitante a sus preguntas: ¿en qué choza está el hombre y en qué choza está la mujer? y ¿dónde está la pareja?; en el “mundo clásico” y en el “mundo cuántico”*

## Anexo 3

## DEDUCCIÓN DE LA RELACIÓN DE HEISENBERG

¿Cómo medimos la frecuencia de una vibración? Una manera consiste en contar un número entero de oscilaciones y medir el tiempo  $\Delta t$  que tardan en sucederse. Si llamamos  $n$  al número de vibraciones, la duración de una de ellas (o período) viene dada por  $T = \Delta t/n$ . Si  $n$  es un número entero, la incertidumbre asociada (el error en la medida),  $\Delta n$ , no podrá ser menor que uno. Supongamos a partir de ahora que nuestros cálculos sufren de un error cuyo orden de magnitud es la unidad; es decir, admitimos que el número verdadero de oscilaciones se halla comprendido en el intervalo  $n \pm 1$ . Al inverso del período se le denomina frecuencia:  $f = 1/T$ . Tenemos pues una incertidumbre en la frecuencia dada por  $f \pm \Delta f = (n \pm 1)/\Delta t$ , donde  $\Delta f = 1/\Delta t$ . Por tanto, si realizamos una medida durante un segundo, estaremos midiendo la frecuencia con un error de 1 hercio. Tras diez segundos, el error se habrá reducido a 0,1 hercios. Para reconocer una frecuencia con una precisión de  $k$  hercios, o para diferenciar entre dos vibraciones cuyas frecuencias se diferencian en  $k$  hercios, necesitaremos en general un tiempo de medición de  $1/k$  segundos. Cuanto más largo sea el intervalo de medida, menor será el error. De esta manera, medir una frecuencia de manera totalmente exacta nos llevaría una eternidad.

Una vez leído el texto rellena la siguiente tabla para deducir una relación muy aproximada a la de Heisenberg

Expresión clásica:	$\Delta f \Delta t \approx 1$		$\Delta x \Delta (1/\lambda) \approx 1$	
Relación entre:	Incertidumbre en la frecuencia y duración de la medida		<i>Camino recorrido e incertidumbre en el inverso de la longitud de onda</i>	
Al multiplicar por $h$ :	$\Delta (hf) \Delta t \approx h$		$\Delta x \Delta (h/\lambda) \approx h$	
Relación onda-partícula	$E = hf$	Einstein	$p = h/\lambda$	De Broglie
Resultado:	$\Delta E \Delta t \approx h$		$\Delta x \Delta p \approx h$	
Relación entre:	Energía y tiempo		Posición y momento	

¿Qué significado tiene la relación deducida en la primera columna?, pon un ejemplo  
 ¿Qué influencia tiene la constante de Planck en el comportamiento cuántico? ¿y en

*la Física Clásica?, ¿por qué?*

Texto tomado de:

- *Treitz, N. (2011). Curiosidades de la física-De una nota desafinada al principio de incertidumbre. Investigación y Ciencia, (414), 89.*
- *Treitz, N. (2011). Del principio de incertidumbre al color del tomate. Investigación y Ciencia: Edición Española de Scientific American, (417), 89-91.*

Anexo 4

PRUEBA DE EVALUACIÓN

Responde, por favor, a las siguientes cuestiones argumentando tus respuestas

1.- Observa esta viñeta



- a) ¿Cómo interpretas la siguiente viñeta desde los contenidos vistos en la Unidad?
- b) ¿Con qué fenómeno/s lo relacionarías?
- c) ¿qué concepto/s y/o principio/s implica/n?

2.- Observa esta otra



- a) ¿cómo interpretas la siguiente viñeta desde los contenidos vistos en la Unidad?

- b) ¿con qué fenómeno/s lo relacionarías?
- c) ¿qué concepto/s y/o principio/s implica/n?

3.- En referencia a la mecánica Cuántica Einstein dijo la siguiente frase:

*“Dios no juega a los dados”*

- a) ¿qué crees que quería decir Einstein con dicha frase?
- b) ¿qué principio de la Física Cuántica podrías citar en referencia a esa frase?
- c) ¿a qué objetos afecta dicho principio y por qué?
- d) ¿qué idea de la realidad dirías que tenía Einstein y porqué?

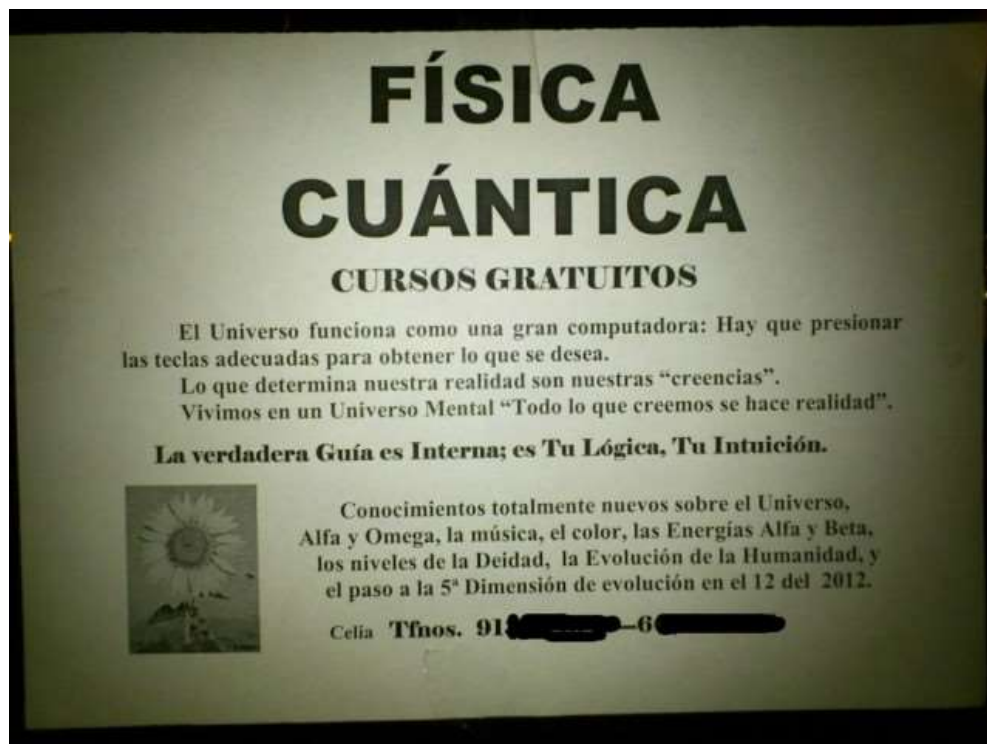
3.- Erwin Schrödinger, creador de la ecuación que lleva su nombre dijo:

“

*Si vamos a tener que seguir aguantando esos malditos saltos cuánticos, lamento haber tenido algo que ver con la teoría cuántica”*

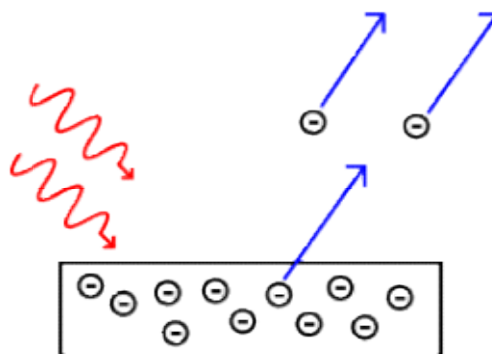
- a) ¿a qué crees que se refería Schrödinger con dicha frase?
- b) ¿dónde tienen lugar “esos malditos saltos cuánticos”?
- c) ¿cómo se verifican?
- d) ¿cita alguna/s consecuencia/s de dichos “saltos”?

4.- haz un análisis crítico de la siguiente imagen desde lo visto en la Unidad



- a) ¿qué principio de la Física Cuántica se está obviando con las aseveraciones que muestra el anuncio?
- b) ¿explica el principio y pon un ejemplo de su aplicación?

5.- Explica dicha imagen, el fenómeno al que se refiere, sus parámetros principales, la relación entre ellos y algunas aplicaciones tecnológicas del mismo



Anexo 5

**RÚBRICA DE ACTITUDES**

Semana:	ALUMNO:				
ASPECTOS A EVALUAR	Nunca (1)	Pocas veces (2)	Normalmente (3)	Casi siempre (4)	Siempre (5)
Es limpio y ordenado en la realización de las actividades					
Participa y trabaja activamente en el grupo					
Defiende con asertividad sus puntos de vista					
Mantiene un espíritu crítico					
Respeto los puntos de vista de los demás					
Es puntual					
Es solidario y empático: siempre está dispuesta a ayudar al que lo necesita					
Mantiene una actitud NO disruptiva en clase					
PUNTUACIÓN PARCIAL					

Anexo 6

**RÚBRICA DE PRUEBA DE EVALUACIÓN FINAL**

ALUMNO:					
ASPECTOS A EVALUAR PRUEBA DE EVALUACIÓN FINAL DE CONTENIDOS	Nada (1)	Algo (2)	A medias (3)	Bastante (4)	Completamente (5)
Sabe interpretar los fenómenos cuánticos					
Puede extraer los conceptos fundamentales que afectan a un fenómeno					
Consigue elaborar una nueva ontología sobre los objetos cuánticos					
Distingue los ámbitos cuánticos de los clásicos sin mezclarlos					
Sabe predecir los aspectos fundamentales de un fenómeno desde el punto de vista de la Física Cuántica					
Interpreta la incertidumbre cuántica en su aspecto ontológico y no como una limitación técnica					
Puede nombrar aplicaciones tecnológicas de la Física cuántica					
Explica adecuadamente el efecto fotoeléctrico					
PUNTUACIÓN TOTAL					